Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ – 2023

IX МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ УЧЕНИХ, АСПІРАНТІВ І СТУДЕНТІВ

АКІТ – 2023

Київ, 19 квітня 2023 року

Матеріали конференції

Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інженерно-хімічний факультет

КАФЕДРА
ТЕХНІЧНИХ ТА ПРОГРАМНИХ
ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

АВТОМАТИЗАЦІЯ
ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ – 2023

IX МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ УЧЕНИХ, АСПІРАНТІВ І СТУДЕНТІВ

АКІТ – 2023

Київ, 19 квітня 2023 року

Матеріали конференції

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2023

УДК 66.01-52:004](062)
А22

А22 **Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології – 2023** : матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів (АКІТ – 2023) ; Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 19 квітня 2023 р. / уклад. М. В. Лукінюк. – 126 с. : іл.

ISBN 978-966-990-066-1

Наведено матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, студентів і аспірантів «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології (АКІТ – 2023)», яка відбулася в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» 19 квітня 2023 року. Висвітлено сучасні підходи та методи в автоматизації виробничих процесів, математичному моделюванні технологічних об'єктів, дослідженні та синтезі сучасних комп'ютерних систем керування.

Для науковців, аспірантів і студентів вищих навчальних закладів.

УДК 66.01-52:004](062)

Рекомендовано до друку Вченою радою
Інженерно-хімічного факультету
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
(*Протокол № 2 від 27.02.2023 р.*)

Відповідальний за випуск
А. І. Жученко, д-р техн. наук, проф.,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Укладання та комп'ютерне верстання *Михайла Лукінюка*

Матеріали подаються в авторській редакції

ISBN 978-966-990-066-1

© Автори тез доповідей, 2023
© КПІ ім. Ігоря Сікорського (ІХФ), 2023

Кафедра технічних та програмних засобів автоматизації була створена на хіміко-технологічному факультеті КПІ наказом ректора О. С. Плигунова № 434 від 2 червня 1960 р. Згідно з наказом вона отримала назву «Кафедра теоретичних основ автоматики», її першим завідувачем став відомий спеціаліст з теорії автоматичного регулювання професор Корнілов Юрій Георгійович, автор першого в СРСР підручника з теорії автоматичного регулювання.

Колектив кафедри за короткий час створив лабораторну базу, займаючись одночасно підготовкою курсів лекцій і навчанням студентів. Викладачі кафедри читали курс теорії автоматичного регулювання на різних факультетах (ця традиція підтримується донині). Першими студентами кафедри стали студенти хіміко-технологічного факультету, які висловили бажання отримати спеціальність «Автоматизація технологічних процесів хімічних виробництв». Через рік кафедру перейменували («Кафедра теоретичних основ автоматики і автоматизації хімічних виробництв»), а згодом вона отримала назву «Кафедра автоматизації хімічних виробництв» (кафедра АХВ).

Перший випуск інженерів, підготовлених кафедрою, відбувся 1963 року. Того ж року кафедра перейшла на факультет хімічного машинобудування КПІ. У подальшому кафедру очолювали доцент М. Д. Ступак (1963–1964), професори Р. Я. Ладієв (1964–1977), Ю. О. Остапенко (1977–1984), В. С. Коваленко (1984–1990), М. З. Кваско (1990–2007). З січня 2007 року кафедру очолює доктор технічних наук, професор Анатолій Іванович Жученко.

У 2020 році відбулося об’єднання кафедри автоматизації хімічних виробництв та кафедри кібернетики хіміко-технологічних процесів в єдину кафедру під назвою «Кафедра технічних та програмних засобів автоматизації» (кафедра ТПЗА).

На кафедрі працюють 37 викладачів, серед яких 4 професори, 16 доцентів. У різні роки на кафедрі працювали відомі вчені – професори О. М. Крижанівський, А. З. Грищенко, В. М. Кунцевич.

За час існування кафедри підготовлено тисячі фахівців з автоматизації технологічних процесів (інженерів, спеціалістів, бакалаврів, магістрів), у тому числі сотні іноземців, виконано значний обсяг науково-дослідних робіт, результати яких впроваджено на десятках підприємств України та далеко за її межами. Випускники кафедри успішно працюють програмістами у IT-компаніях, банках, керівниками відділів автоматизації на підприємствах, інженерами у науково-дослідних та проектних організаціях.

Кафедрою проводиться підготовка бакалаврів, магістрів і докторів філософії за спеціальністю 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Сьогодні кафедра ТПЗА має в своєму розпорядженні сучасні навчальні лабораторії автоматики та мікропоцесорної техніки, технологічних вимірювань і приладів, а також комп'ютерні та мультимедійні класи, центр дистанційного навчання, навчально-прикладний центр розробки стратегій керування «Хоневелл Україна».

Студенти кафедри вивчають теорію автоматичного керування, прийняття рішень, технології штучного інтелекту, інформаційні технології, комп'ютерні мережі, захист інформації, програмування та мікропроцесорну техніку.

Викладачами та співробітниками кафедри видано понад 200 підручників, навчальних посібників і монографій, оприлюднено тисячі наукових публікацій, отримано сотні авторських свідоцтв на винаходи та патентів.

Адреса кафедри: 03056, Київ, пр-т Перемоги, 37, корпус № 19;
телефони: (044) 204-96-70, 204-85-70;
e-mail: tpza@kpi.ua;
сайт: https://tpza.kpi.ua

Щорічно у квітні проводиться Міжнародна науково-практична конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ).

Матеріали конференцій друкуються у вигляді збірників, а також розміщуються в електронному варіанті на сайті кафедри.

УДК 621.395.664

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕГУЛЮВАННЯ КОЕФІЦІЕНТІВ НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГИ НУЛЬОВОЇ ТА ЗВОРОТНОЇ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ

Панов А. О.
Державний біотехнологічний університет, panovanton1994@gmail.com

Зростає занепокоєння щодо постачання електроенергії промисловим підприємствам, головним чином, коли їх процеси засновані на сприйнятливих навантаженнях. У такому разі якість електроенергії стає надзвичайно актуальною. Показники надійності та рівні напруги, наприклад, є параметрами, набагато регульованими зараз. До інших явищ якості електроенергії також відносяться набагато докладніше, такі як провал напруги, гармонічні спотворення, несиметрії напруги та струму і т.д. Несиметрія напруги призводить до різкого зниження ефективності трифазних асинхронних двигунів. Оскільки асинхронні двигуни становлять найбільшу частину промислових навантажень, видно, що несиметрія напруги слід ретельно вивчати і контролювати.

Мета дослідження заключається в регулювання параметрів якості електричної енергії, а саме коефіцієнтами несиметрії напруги по нульовій та зворотній послідовності, використовуючи нечітку логіку. При цьому для створення моделі застосовується додаток *Fuzzy Logic Toolbox,* який входить до пакету програми *MATLAB.*

Після створення функції приналежності для термів вхідних змінних [1] і після створення функції приналежності для термів вихідної змінної «Перемикання комутації», яка оцінюється за шкалою від 1 до 2, то можна записати такі евристичні знання цієї проблемної області логічного виводу для нормалізації коефіцієнтів несиметрії напруги при зворотній і нульовій послідовності [2]:

1) if K2Un then "Перемикання комутації".

2) if K0Un then "Перемикання комутації".

3) if K2Uh then "Перемикання комутації".

4) if K0Uh then "Перемикання комутації".

Після завдання правил нечіткого виводу отримуємо результат для конкретних значень вхідних змінних. Після зміни значень вхідних змінних розглядаються результати виконаних вимірювань.

Процес нечіткого моделювання передбачає аналіз результатів нечіткого виведення при різних значеннях вхідних змінних, тому розглянемо правило логічного виводу для симетрії напруги при нормальному відсотку відхилення. Правило у повному вигляді має наступний вид:

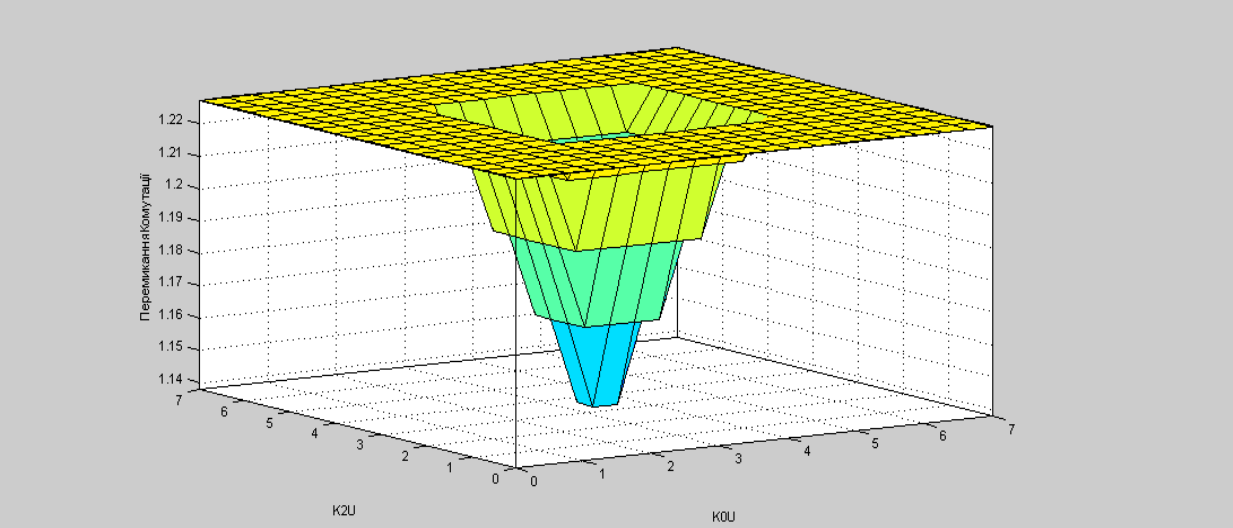
if (K2Un or K0Un) then "ПК".

Тобто, при значенні коефіцієнта несиметрії напруги при зворотній послідовності дорівнює значенню 0,953% *("K2Un"),* то в цьому випадку розроблена система нечіткого виводу рекомендує здійснити "Перемикання комутації" до позначки 1,23 *("ПК")*. І також при значенні коефіцієнта несиметрії при нульовій послідовності, який дорівнює значенню 2,4% *("K0Un")*, то в цієї моделі розроблена система нечіткого виводу рекомендує здійснити "Перемикання комутації" до позначки 1,2 *("ПК")*.

Наступне, що розглянемо, це правило логічного виводу для симетрії напруги для високого відсотку відхилення. Правило у повному форматі має такий вигляд:

if (K2Uh or K0Uh) then "ПК".

Тобто, при значенні коефіцієнта несиметрії напруги при зворотній послідовності дорівнює значенню 5,92 % *("K2Un")*, то в цьому випадку розроблена система нечіткого виводу рекомендує здійснити "Перемикання комутації" до позначки 1,23 *("ПК")*. І також при значенні коефіцієнта несиметрії при нульовій послідовності, який дорівнює значенню 5,1 % *("K0Un")*, то в цієї моделі розроблена система нечіткого виводу рекомендує здійснити "Перемикання комутації" до позначки 1,23 *("ПК")*.



Графічний інтерфейс перегляду поверхні нечіткого виведення для "Перемикання комутації"

Показано, що при зміні коефіцієнта несимітрії напруги по зворотній і нульовій послідовності буде здійснюватись комутація. Асиметрія по зворотній, так само і по нульовій послідовності вирішується однакого, тобто, за допомогою трансформаторної підстанції, яка укомплектована пристроєм РПН, який має змогу зміни комутації споживача до фаз, тобто перемиканням комутації споживачів між фазами [3].

1. Панов А. О. Регулювання коефіцієнтів несиметрії напруги нульової та зворотної послідовності в електричних мережах 0,4 кВ / А. О. Панов // *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології – 2020*. VII міжнародна науково-практична конференція молодих учених, аспірантів і студентів. Київ : КПІ, 2020. С. 16–17.

2. Панов. А. О., Тимчук С. О. Нечеткий алгоритм регулирования коэффициентов несимметрии напряжения обратной и нулевой последовательности. *The 4th International scientific and practical conference "Perspectives of world science and education"*. Osaka, Japan : CPN Publishing Group, 2019. P. 670–79.

3. Панов А. А., Тимчук С. А. Нечеткий алгоритм регулирования установившегося отклонения напряжения в электрической сети 0,4 кВ. Таллин : *United Journal*, 2019. № 26. С. 31–37.

УДК – 661.187.2

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ СУЛЬФАТУВАННЯ СПИРТІВ ГАЗОПОДІБНИМ ТРИОКСИДОМ СІРКИ

Шептицький Я. В., Плашихін С. В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, yar032sh@gmail.com

Сульфатування спиртів газоподібним триоксидом сірки зазвичай проводять у безперервному режимі, в апаратах барботажного типу – сульфураторах. У таких апаратах газова фаза, що складається з повітря та газоподібного триоксиду сірки, введена у реактор через дно. Під час реакції виділяється тепло, яке може бути відведене через реакційну масу або через додаткові системи охолодження. Продукти реакції виходять зверху сульфуратора, а непрореаговані компоненти та відходи виводяться знизу.

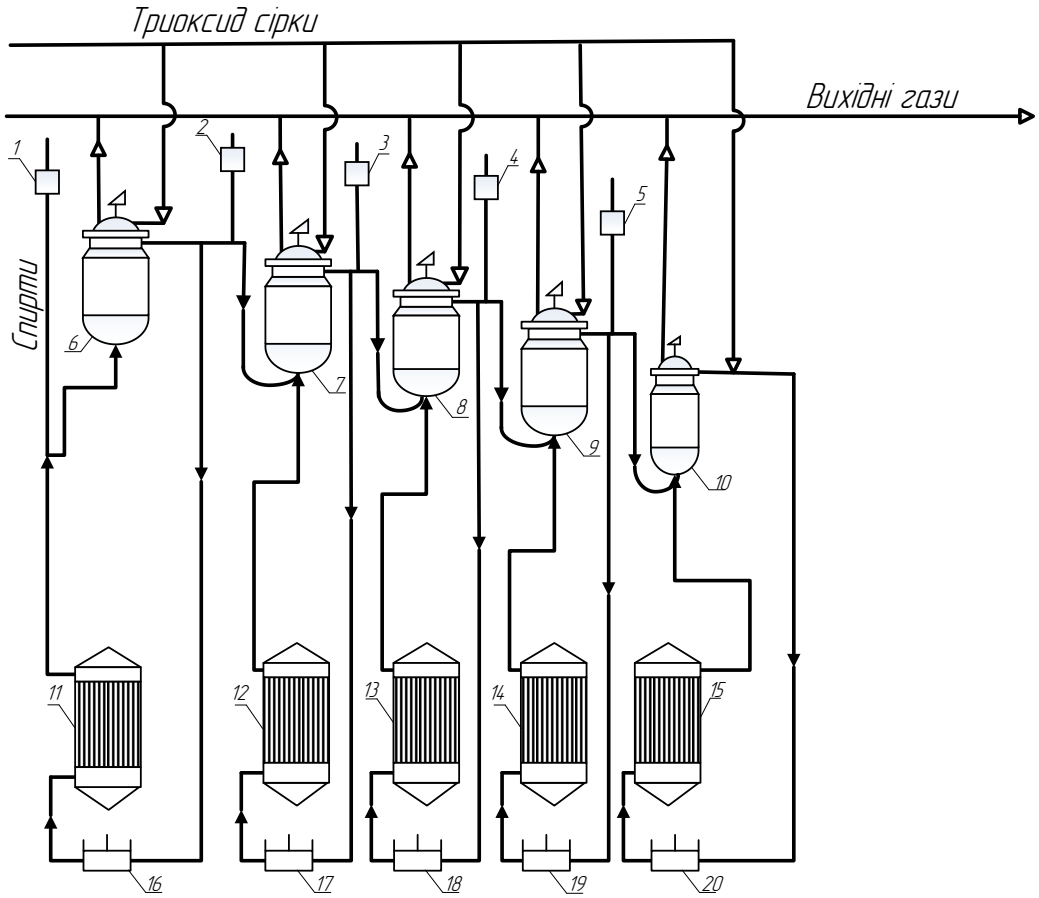
Температура процесу має значний вплив на реакцію сульфатування, якщо вона збільшується, то утворюється багато ненасичених сполук, які можуть полімеризуватися та забарвити сульфомасу у темний колір. Оптимальна температура для сульфатування первинних спиртів газоподібним SO_3 становить 40…45 °С, що трохи вище їх температури плавлення. Суміш SO_3 з повітрям паралельно подають до всіх сульфураторів, 60 % до першого сульфуратора та 15…20 % до інших. Жирні спирти через дозатори подають до нижньої частини сульфураторів: 70 % у перший та другий, 20 % у третій, та по 5 % у четвертий та п’ятий. В системі циркулює близько 85 % реакційної маси, яка безперервно перетікає з верхньої частини попереднього сульфуратора до нижньої частини наступного сульфуратора. Охолодження реакційної маси здійснюється у виносному холодильнику за допомогою спеціальних насосів. Щоб забезпечити деаерацію сульфоетилового спирту, температура в останньому сульфураторі підтримується на рівні 50…55 °С [1].

При високих температурах швидкість реакції етерифікації є дуже великою. У процесі сульфатування газоподібним триоксидом сірки, обмежуючою стадією є масоперенесення SO_3 з газової фази в рідку.

У процесі сульфатування спиртів газоподібним триоксидом сірки в системі циркулює близько 85 % реакційної маси, що безперервно перетікає з верхньої частини попереднього сульфуратора до нижньої частини наступного. Для охолодження реакційної маси використовують спеціальні насоси та виносний холодильник. У останньому сульфураторі забезпечують деаерацію сульфоефірів шляхом підтримки температури на рівні 50...55 °С.

Оптимальні умови проведення процесу сульфатування впливають на глибину сульфатування та колір реакційної маси. При цих умовах глибина сульфатування становить 94...98 %, а після нейтралізації реакційної маси кінцевий продукт містить мінімальну кількість сульфату натрію. Для нейтралізації використовують надлишок лугу з концентрацією 8...10 %, а температура нейтралізації становить 45...50 °С [2].

На рисунку зображено схему, яка включає п’ять послідовно розташованих апаратів, чотири з яких мають однаковий об’єм, а п’ятий менший в понад 2,5 рази.



Схематичне розташування сульфураторів при сульфатуванні спиртів газоподібним триоксидом сірки: *1, 2, 3, 4, 5* – дозатори; *6, 7, 8, 9, 10* – сульфуратори; *11, 12, 13, 14, 15* – теплообмінники; *16, 17, 18, 19, 20* – насоси

Отже, для успішного проведення процесу сульфатування спиртів газоподібним триоксидом сірки необхідно враховувати багато факторів та встановити оптимальні параметри процесу. Однак, потрібно врахувати, що безпека при роботі з хімічними речовинами та устаткуванням є також надзвичайно важливим аспектом. Щоб забезпечити точний та стабільний контроль параметрів процесу, таких як температура, тиск та концентрація, необхідно розробити автоматизовану систему керування, що дозволить здійснювати моніторинг та реєструвати показники процесу в режимі реального часу, підвищити ефективність процесу та зменшити витрати.

1. T. W. Graham Solomons, Craig B. Fryhle, Scott A. Snyder. Organic Chemistry, 2016, p. 1216.
2. Matt King, Michael Moats. Sulfuric Acid Manufacture: Analysis, Control and Optimization, 2013, p. 726.

УДК 62.526

ІДЕНТИФІКАЦІЯ МОДЕЛІ КООРДИНАТНОГО ПОЗИЦІЮВАННЯ МОДУЛЯ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Леонтьєв П. В., Левковський О. В., Лелюх О. М., Машенцов М. О.
Сумський державний університет, p.leontiev@ksu.sumdu.edu.ua

Віддалено керовані модулі спостереження можуть бути корисними в різних контекстах, зокрема у військових, правоохоронних та безпекових застосуваннях а саме для спостереження та слідкування за цілями [1]. Автоматизована система керування забезпечує значні переваги для модуля з точки зору точності позиціонування. Для створення системи слідкування за цілями доцільно використовувати технологію машинного зору, яка може використовуватись, як зворотний зв'язок у автоматизованій системі керування [2]. Для досягнення функціональної ефективності системи керування модуля спостереження необхідно розробити модель об'єкта та ідентифікувати її. Об'єкт керування являє собою двокоординатну мехатронну систему на базі електродвигунів постійного струму.

Для отримання моделі було визначено математично модель об'єкта з якої виокремлено основні структурні елементи, які впливають на якісні показники перехідного процесу розімкненої системи. Передавальну функцію електродвигуна можна описати аперіодичною ланкою 1-го порядку

$$W(p) = \frac{k}{Tp+1}, \tag{1}$$

де $к$ – коефіцієнт підсилення системи; T – стала часу системи.

Конструктивними особливостями модуля є наявність черв'ячного редуктора, що в свою чергу вносять нелінійність типу люфт в об'єкт керування. Опис такої нелінійності наведено нижче:

$$U = \begin{cases} k(E-c), \text{ при } \frac{dE}{dt} > 0, \\ k(E+c), \text{ при } \frac{dE}{dt} < 0, \\ \text{const}, \text{ при } |kE - U| < c, \end{cases} \tag{2}$$

де $к$ – коефіцієнт нахилу функції; p – аргумент функції; c – значення люфта.

В якості зворотного зв'язку використовується машинний зір, але використання подібних технологій вносить затримку в системі.

$$exp\ (-p^{\tau}), \tag{3}$$

де τ – час запізнення сигналу від системи машинного зору.

На основі математичної моделі було створено структуру моделі об'єкта керування (рис. 1). Для уточнення параметрів моделі було проведено ідентифікацію на реальному об'єкті шляхом завдання вхідного впливу на електропривод горизонтальної осі модулю спостереження та відслідковування швидкості зміни координати, що отримується з системи машинного зору.

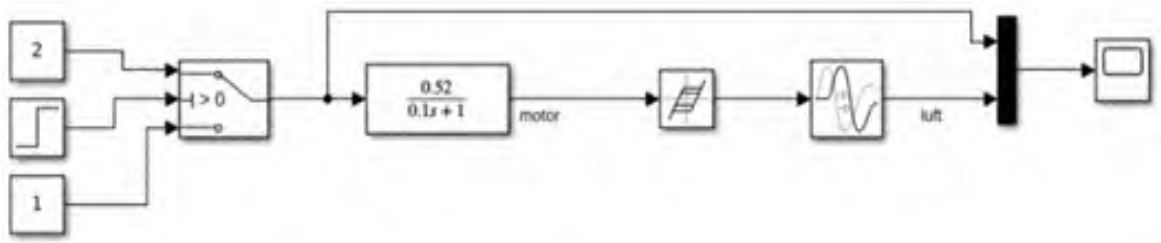


Рис. 1. Модель об’єкта та системи керування для модуля спостереження

За результатами ідентифікації було отримано розгінну характеристику зміни швидкості координати цілі та зміну самої координати цілі. Порівнявши розгінну характеристику з перехідною характеристикою було уточнено параметри моделі об’єкта а саме коефіцієнти математичної моделі.

На рис. 2 зображено реакцію моделі та рекцію об’єкта на ступеневий вхідний сигнал, який змінюється, на графіку видно реакцію системи на люфт редуктора (l), час затримки сигналу (τ) від системи машиного зору та стала часу системи (T).

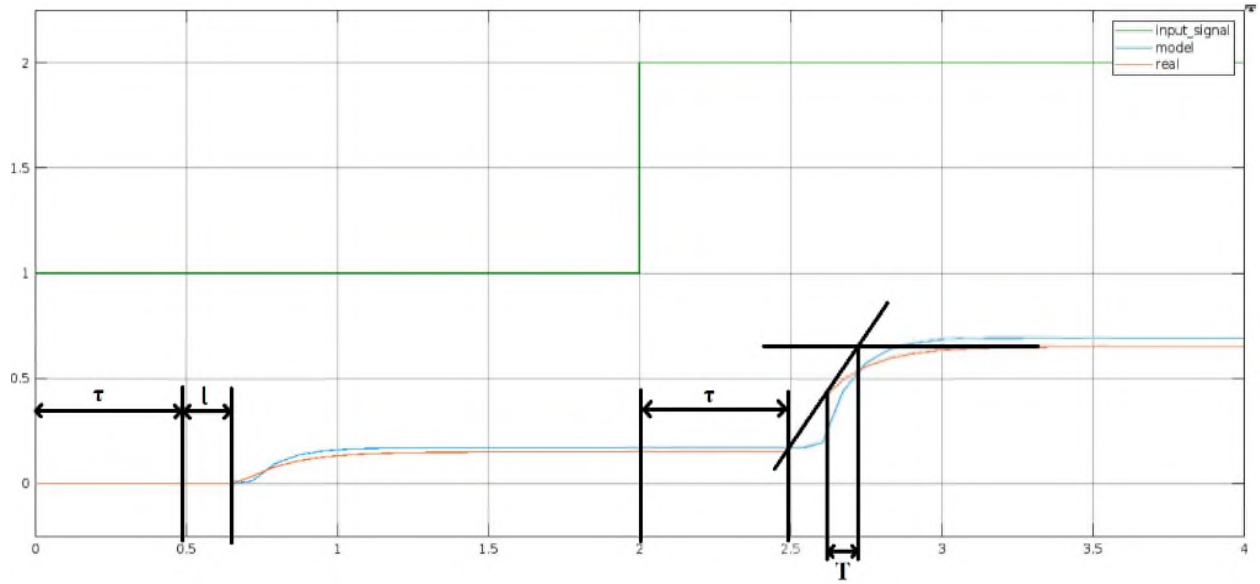


Рис. 2. Перехідна та розгінна характеристики об’єкта керування

На основі отриманих результатів можна побудувати систему керування для даного об’єкта. Як варіант розглядається системи керування на базі комбінації ПІД регулятора та релейного регулятора [3]. Релейний регулятор буде використовуватися для усунення нелінійності на об’єкті керування. Структурно параметричний синтез ПІД-регулятора для розглянутого об’єкта є подальшим завданням наукових досліджень.

1. Ahmet Burak Tatar, Alper Kadir Tanyıldızı, Oğuz Yakut Four-legged hunter (FLH) robot: design and shooting control to moving targets with SMC. Simulation Modelling Practice and Theory 104 (2020).

2. Purwanto Djoko, Prasetyawan Dani, Rivai Muhammad. Development of Auto Tracking and Target Locking on Static Defence Based on Machine Vision. 2016 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication. P. 290–294.

3. Kulinchenko H., Panych A., Leontiev P., Zhurba V. Simulation of the expander of the excess gas pressure utilization plant. *ScienceRise ISSN 2313-8416*. Tallin Estonia, 2022. No. 3 (80). P. 3–13.

УДК 665.6/.7, 62-503.57

ДЖЕРЕЛА НЕСТАЦІОНАРНОСТЕЙ В АДСОРБЦІЙНОМУ ОЧИЩЕННІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ОЛИВ

Тюріна Є. О., Ярощук Л. Д.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, eugenia.turina@gmail.com

Технологічні процеси, пов'язані з очищенням нафтових продуктів, широко застосовують у різних галузях промисловості. Найбільш ефективним є використання неперервних адсорбційних комплексів. Складність і багатокомпонентність адсорбційних процесів, а також їх нестабільність вимагають створення таких систем керування [1], які зможуть виконувати вимоги до якості очищення.

Метою дослідження є визначення джерел нестаціонарностей в адсорбційному процесі очищення та алгоритму адаптації системи керування.

Розглянемо основи технології. В адсорбер протитечією подають охолоджену суміш сировини й розчинника (знизу) й адсорбент (зверху), який контактує з сировиною і вилучає з неї компоненти забруднювачів (ароматичні вуглеводні, сірчисті з'єднання, смоли).

Сировиною є відпрацьовані оливні та мастильні матеріали. Перед безпосереднім очищенням з них вилучають присадки. Адсорбентом є крихта алюмосилікатного каталізатора.

Сировина. Основним джерелом нестаціонарності адсорбційного процесу є сировина. Оливи та мастила є багатокомпонентними матеріалами, їх склад визначає властивості і призначення цільового продукту. У процесі експлуатації вони змінюють свої властивості через накопичення забруднювачів. Тип відпрацьованого мастила відображає як його початковий, так і кінцевий компонентний склад.

Нестабільність властивостей забрудненої оливи або мастила викликана різними факторами, серед яких характер попередньої експлуатації оливи або мастила, ступінь його забруднення, компонентний склад.

Концентрації складових мастила є суттєвими збуреннями, які потрібно враховувати як при переході до очищення іншого типу сировини, так і в режимі нормальної експлуатації. Характер збурень, тобто нестаціонарностей, у ці два періоди різний.

Адсорбент. Оскільки адсорбент неперервно циркулює в технологічних ланках – його подають на адсорбцію, десорбцію, стадії підготовки й знову адсорбцію – він також може вносити збурення в систему. Ними можуть бути, зокрема, ступінь його відновлення (з яким компонентним складом адсорбент повертають в адсорбер).

Адсорбер. Зміни параметрів конструкційних елементів апарату (збурення) можуть бути викликані налипанням матеріалів на стінках адсорбера, забиванням прохідних перерізів між тарілками та механізмів подачі адсорбенту (форсунок). Ці збурення знижують ефективність процесу очищення.

По відношенню до процесу збурення від властивостей сировини та адсорбенту розглядаємо як зовнішні, а з боку адсорбера – як внутрішні. Ці збурення слід

вважати притаманними процесу очищення мастил, їх поведінку можна розглядати як випадкові процеси.

У результаті аналізу теоретичних положень адсорбційних процесів можна прийти до висновку, що наведені види збурень описують в основному нелінійними часовими залежностями, які при цьому пов'язані між собою. Зазначене пояснює необхідність розглядати технологічний об'єкт керування як систему декількох нестаціонарних процесів. Тому актуальним є створення таких адаптивних систем, які зможуть дотримуватись вимог до якості керування.

Вибір методу адаптації [2] залежить, зокрема, від походження та характеру збурень, які діють на об'єкт. Так, врахування концентрацій забруднювачів у сировині вимагає використання адаптивного методу, що дозволить досягти заданих концентрацій продукту та зменшити час налаштування системи (початкові режими).

Описані джерела збурень мають різні часові тренди, які в умовах виробництва складно відслідковувати. Зрозуміло, що адаптивна система керування адсорбцією повинна мати спеціальну аналітичну складову для ідентифікації окремих трендів і певної оптимізації для визначення керувальних впливів.

У подальших дослідженнях заплановано визначити способи опису властивостей збурень та створити алгоритм комплексного їх врахування в системі керування адсорбційним процесом.

1. Ярощук Л. Д., Тюріна Є. О. Ієрархія задач керування неперервним процесом адсорбційного відновлення мастильних матеріалів. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2021. № 2. С. 49–62. DOI: 10.24025/2306-4412.2.2021.239200.

2. M. Krstic, I. Kanellakopoulos, P. V. Kokotovic, Nonlinear and Adaptive Control Design. Wiley-Interscience, 1995, 563 c. ISBN 0-471-12732-9.

УДК 531.7 : 621.3

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГАЗОРІДИННОГО ТЕПЛООБМІННИКА У ПРОЦЕСІ ПОЛІМЕРИЗАЦІЇ ІЗОБУТИЛЕНУ

Журавель Є. В., Складанний Д. М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, zhzhuravel@gmail.com

Охолоджений до низьких температур етилен використовується для охолодження рідкого ізобутилену у процесі його фторидно-борової полімеризації, а також як розчинник ізобутилену. Процес підготовки етилену протікає у теплообміннику (ТО), де відбувається його охолодження від температури від мінус 40 °С до мінус 90 °С, а охолоджувачем виступає потік газоподібного етилену [1].

Вхідні й вихідні потоки досліджуваного ТО наведено на рис. 1. Процес протікає за високого тиску та реалізовується у двосекційному ТО типу «труба в трубі». Рідкий етилен під високим тиском подається у внутрішню трубу, газоподібний у зовнішню. Вихідними потоками будуть нагрітий газоподібний етилен та охолоджений рідкий. Останній спрямовується у холодильну установку для розчинення та охолодження ізобутилену [1].

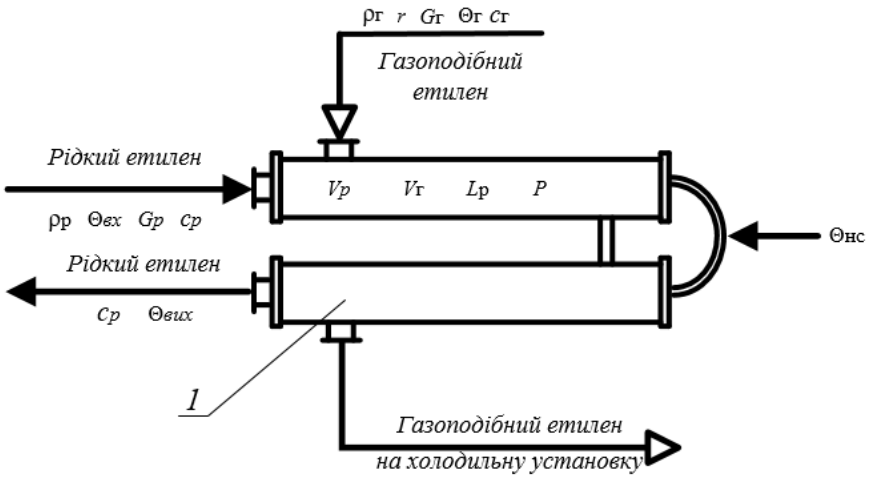


Рис. 1. Розрахункова схема теплообмінника:
1 – ТО; $G_р$ – витрата рідкого етилену; $G_г$ – витрата газоподібного етилену; $Θ_{вх}$, $Θ_{вих}$ – температури рідкого етилену на вході та виході з ТО відповідно; $Θ_г$ – температура газоподібного етилену на вході у ТО; $Θ_{нс}$ – температура довкілля; $c_р$ – питома теплоємність рідкого етилену; $c_г$ – питома теплоємність газоподібного етилену; r – питома теплота пароутворення етилену; $V_р$ – об'ємна витрата рідкого етилену в ТО; $V_г$ – об'ємна витрата газоподібного етилену; $ρ_р$ – густина рідкого етилену; $ρ_г$ – густина газоподібного етилену; $L_р$ – рівень рідкого етилену в ТО; P – тиск у ТО

Метою дослідження є розроблення математичної моделі ТО та побудови його статичної характеристики як об'єкту керування. Рівняння балансів ТО у динамічному режимі набуває вигляду:

$$G_р + G_г = ρ(dVp/dt) = Sρ(dLp/dt).$$

Для побудови статичної характеристики ТО, складемо рівняння теплових балансів основних теплоносіїв – рідкого і газоподібного етилену [2]:

– тепловий баланс для газоподібного етилену набуває вигляду:

$$G_г c_г \Theta_г r - KS(\Theta_г + \Theta_{нс} - (\Theta_{вх} + \Theta_{вих})/2) = V_г \rho_г c_г (d\Theta_г/dt);$$

– тепловий баланс для рідкого етилену набуває вигляду:

$$G_р c_р (\Theta_{вх} - \Theta_{вих}) + KS(\Theta_г + \Theta_{нс} - (\Theta_{вх} + \Theta_{вих})/2) = V_p \rho_р c_р (d((\Theta_{вх} + \Theta_{вих})/2)/dt).$$

Перепишемо рівняння теплового балансу у вигляді:

$$G_р c_р \Theta_{вх} + G_г c_г \Theta_г = (G_р + G_г) c_р \Theta_{вих},$$

і виведемо статичну характеристику для каналу «витрата газоподібного етилену – вихідна температура рідкого етилену»:

$$\Theta_{вих} = G_р c_р \Theta_{вх} + G_г c_г \Theta_г / (G_р + G_г) c_р.$$

З урахуванням усіх числових констант, статична характеристика за вказаним каналом графічно зображена на рисунку 2.

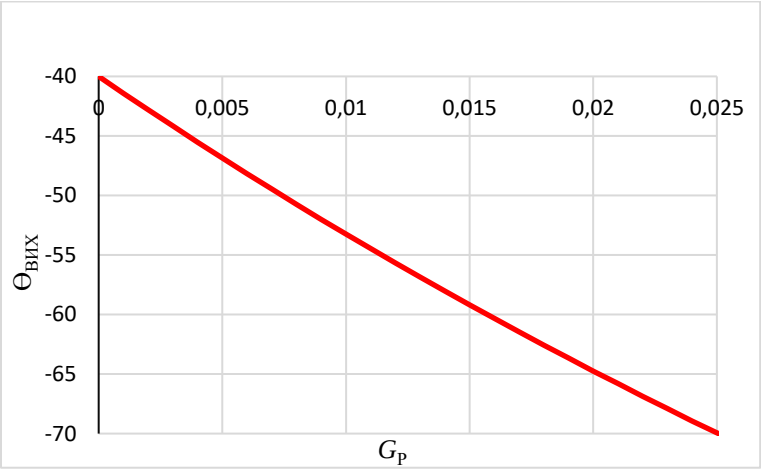


Рис. 2. Статична характеристика теплообмінника

Статична характеристика показує вплив керувальної дії – витрати газоподібного етилену – на регульовану величину – температуру рідкого етилену на виході з ТО. Ця характеристика використовується для синтезу регуляторів у системі керування.

1. Kenneth S. Whiteley; T. Geoffrey Heggs; Hartmut Koch; Ralph L. Mawer; Wolfgang Immel, "Polyolefins". Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Weinheim: Wiley-VCH, 2005, 673 pp.

2. Математичне моделювання теплових процесів в енергетиці та промисловості. Практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник / уклад.: Д. В. Риндюк, В. А. Пешко. Електронні текстові данні. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 75 с. Назва з екрана.

УДК 004.9

МОДЕЛЮВАННЯ СТАТИЧНОГО РЕЖИМУ КОЖУХОТРУБНОГО ТЕПЛООБМІННИКА У ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА СТИРОЛУ ДЕГІДРУВАННЯМ ЕТИЛБЕНЗОЛУ

Злобенко А. Ю., Запорожець Ю. А.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, artemzlobenko@gmail.com

У процесі виробництва стиролу реакція дегідрування відбувається в контактному апараті за температури 873...903 К. Пари етилбензолу за температури 793 К змішуються з перегрітою парою, і надходять у контактний апарат за температури 903 К. У кожухотрубному теплообміннику етилбензол підігрівається до необхідної для реакції температури. Належна робота теплообмінника забезпечує оптимальний перебіг подальшої реакції дегідрування. Теплоносій – стирол-сирець, що надходить у теплообмінник із контактного апарата [1].

Структурно-параметричну схему [2] кожухотрубного теплообмінника зображено на рис. 1.

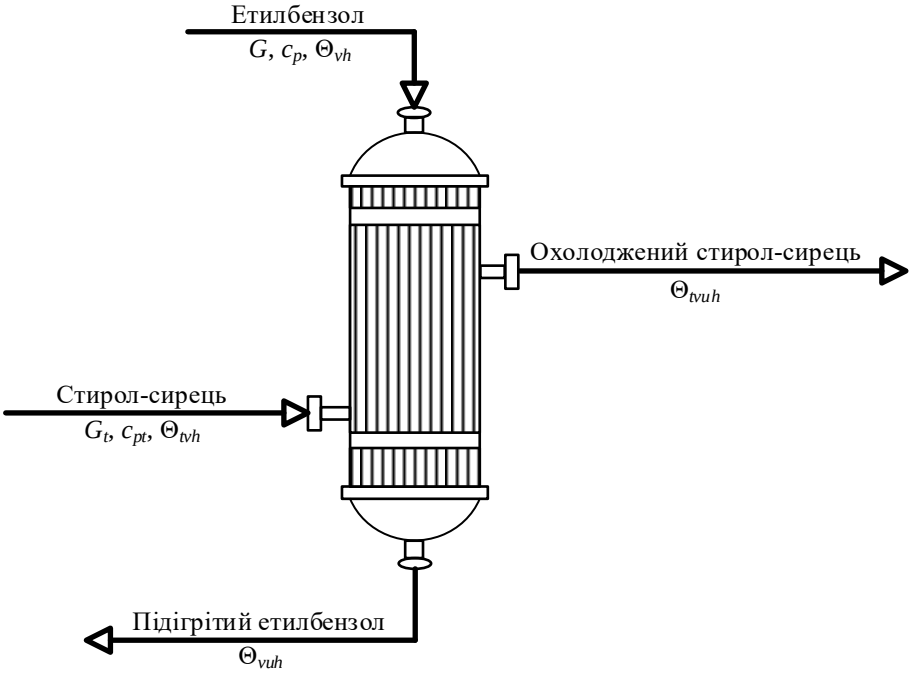


Рис. 1. Структурно-параметрична схема кожухотрубного теплообмінника:
G – витрата пари етилбензолу; G_t – витрта пари стиролу-сирцю; Θ_{vh} – температура пари етилбензолу; Θ_{tvh} – температура пари стиролу-сирцю; c_p – питома теплоємність пари етилбензолу; c_{pt} – питома теплоємність пари стиролу-сирцю; Θ_{vuh} – температура підігрітої пари етилбензолу; Θ_{tvuh} – температура охолодженої пари стиролу-сирцю

Тепловий баланс статики кожухотрубного теплообмінника запишемо як

$$G_t c_{pt} \Theta_{tvh} + G c_p \Theta_{vh} = G_t c_{pt} \Theta_{tvuh} + G c_p \Theta_{vuh}. \quad (1)$$

Тоді рівняння статики каналу «витрата етилбензолу – вихідна температура етилбензолу»

$$\Theta_{vuh} = (G_t c_{pt} \Theta_{tvh} + G c_p \Theta_{vh} - G_t c_{pt} \Theta_{tvuh}) / G c_p. \quad (2)$$

Параметри процесу: c_p = 2489 Дж/(кг·К), Θ_{vh} = 413 К, Θ_{tvh} = 838 К, Θ_{tvuh} = 675 К, G_t = 0,85 кг/с, c_{pt} = 3687 Дж/(кг·К).

Залежність вихідної температури пари етилбензолу від витрати пари етилбензолу має вигляд

$$\Theta_{vuh} = (205 / G) + 413. \quad (3)$$

Графічне зображення залежності (3) наведено на рис. 2.

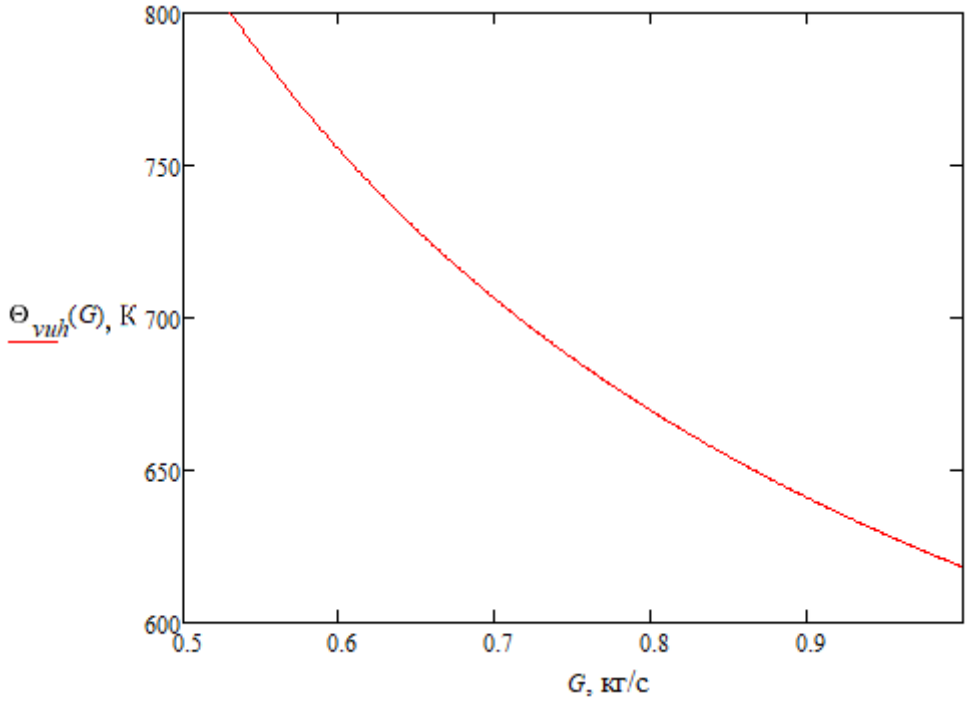


Рис. 2. Статична характеристика кожухотрубного теплообмінника за каналом «витрата етилбензолу – вихідна температура етилбензолу»

Графік побудованої статичної характеристики показує зменшення вихідної температури етилбензолу зі збільшенням витрати етилбензолу. Проведене математичне моделювання теплообмінника дає змогу підібрати теоретичне значення витрати 0,54 кг/с для вихідної температури етилбензолу 793 К за вказаних значень параметрів.

1. Юкельсон И. И. Технология основного органического синтеза. Москва: Химия, 1968. 848 с.

2. Лукінюк М. В. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами: У 2 кн. Кн. 2. Керування хіміко-технологічними процесами : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом: «Хімічна технологія та інженерія». К.: НТУУ «КПІ», 2012. 336 с. ISBN 978-966-622-520-0. ISBN 978-966-622-531-6 (Кн. 2).

УДК 004.5

ПЕРВИННИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ ЕЛЕКТРОЕНЦЕФАЛОГРАМИ ПІД ЧАС РОЗРОБКИ НЕЙРО-КОМП'ЮТЕРНИХ ІНТЕРФЕЙСІВ

Коротинський А. П., Савула А. А.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, ihfantkor@gmail.com

Застосування нейро-комп'ютерних інтерфейсів все частіше зустрічається в повсякденному житті сучасно людини. Одним із таких інтерфейсів є нейрогарнітура NeuroSky MindWave, яка часто застосовується для сворення різноманітних програмних додатків.

Метою роботи є первинний аналіз даних отриманих в результаті роботи нейрогарнітури NeuroSky MindWave для задачі керування роботизованим протезом руки, а саме можливість управління окремими пальцями протезу через нейрокомп'ютерний інтерфейс. Відповідно до сказаного, існує практична задача класифікації даних, отриманих в результаті застосування нейроінтерфейсу.

Коротке відображення та початковий аналіз отриманих даних наведено в таблиці 1. Необроблені дані, отримані в результаті збору початкового набору даних, можна умовно розділи на різні групи [1] відповідно до частоти і амплітуди, це: альфа-ритми (8…13 Гц), бета (13…30 Гц), дельта (0,5…4 Гц) тета (4…7 Гц) та гамма (30…100 Гц).

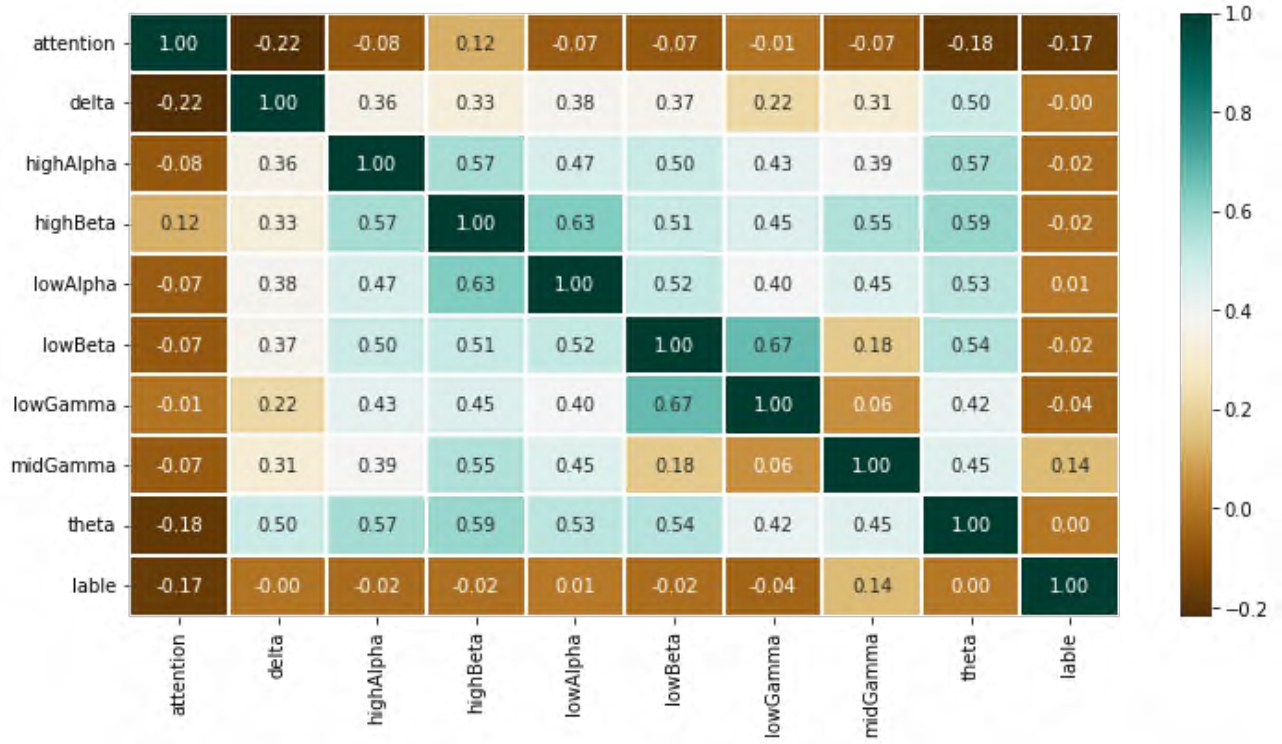
Таблиця 1. Базовий аналіз даних

index	**attention**	**delta**	**highAlpha**	**highBeta**	**lowAlpha**
mean	1498	48	395943	15572	12066
std	869	21	533117	25006	23262
min	0	3	778	125	43
25 %	754	34	48035	4052	3969
50 %	1492	47	151760	8367	6995
75 %	2231	61	554057	17122	11609
max	3194	100	3650114	431445	415876
index	**lowBeta**	**lowGamma**	**midGamma**	**theta**	
mean	19757	12555	4962	78896	
std	36351	18422	6558	167855	
min	32	129	48	83	
25 %	4258	4208	1847	4608	
50 %	9477	7955	3560	14952	
75 %	20838	14880	6041	55606	
max	819665	558806	153701	1990758	

Дельта-ритм або дельта-хвилі це, як правило, найвища амплітуда та найповільніші хвилі. Дельта-коливання стають вираженими під час певних фаз природного сну, наркотичного сну або у стані коми. Тета-коливання, у більших кількостях, пов'язана із патологічними станами або ж зміненими станами свідомості таких як сон та медитація. Альфа-коливання є найбільш вираженим у електро-

енцефалографії здорової притомної людини із закритими очима, у формі вираженого ритму реєструється у 80…90 % людей та пригнічується при відкритті очей, переході до активної діяльності чи аналізу інформації. Бета-активність тісно пов'язана з руховою поведінкою і, як правило, послаблюється під час активних рухів [2]. Бета пов'язана із активним функціональним станом мозку, зростання рівня активації головного мозку здебільшого супроводжується зменшенням частки альфа-коливань і зростанням частки бета-коливань. Вважається, що гамма-ритми являють собою зв'язування різних популяцій нейронів у мережу з метою виконання певної когнітивної або моторної функції [3].

В результаті аналізу матриці кореляції величин між собою та вихідними класами, що наведена на рисунку, було зроблено висновки щодо неможливості безпосереднього використання необроблених даних для вирішення поставленої вище задачі.



Матриці кореляції величин початкової вибірки даних

Можна зробити висновки, що для вирішення описаної задачі необхідно провести дослідження можливості та доцільності застосування підходів Scaling/Normalization, Imputation, Encoding, Feature Selection, Feature Extraction та Time-Series Analysis для видозмінення необроблених даних.

1. Principles of neural science / Eric R. Kandel, John Koester, Sarah Mack, Steven Siegelbaum (6th ed.). New York, 2021. P. 1450. ISBN 978-1-259-64223-4. OCLC 1199587061.

2. Pfurtscheller G, Lopes da Silva FH. Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. *Clinical Neurophysiology*. (November 1999) 110 (11) : 1842–1857. doi:10.1016/S1388-2457(99)00141-8. PMID 10576479. S2CID 24756702.

3. Niedermeyer E, da Silva FL (2004). Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields. Lippincott Williams & Wilkins. ISBN 978-0-7817-5126-1.

УДК 621.386.6:536.7:536.24

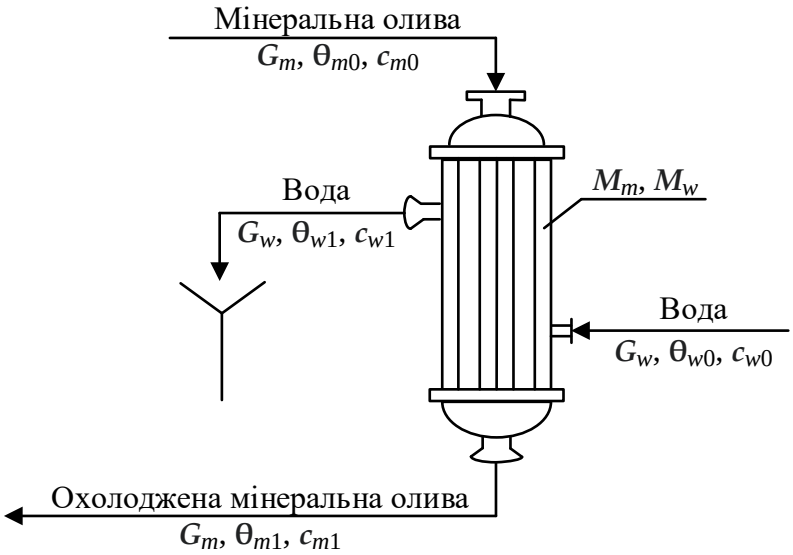
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХОЛОДИЛЬНИКА У ПРОЦЕСІ ПАРОФАЗНОЇ ІЗОМЕРИЗАЦІЇ Н-БУТАНУ

Лопата Д. Д., Тюріна Є. О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, danilal9200@gmail.com

Ізобутан широко використовують у різних галузях промисловості, зокрема як компонент палива для автомобільних двигунів, сировину для виробництва етилену, пропану. Перетворення н-бутану в ізобутан є складним процесом, умови перебігу якого суттєво залежать від температури. Надмірне підвищення температури знижує ефективність процесу ізомеризації [1], тому актуальним постає питання забезпечення необхідних температурних режимів для його нормального перебігу.

Метою дослідження є створення математичної моделі процесу охолодження мінеральної оливи з її подальшим використанням для налаштування регуляторів системи керування.

На рисунку наведено розрахункову схему холодильника. Зверху в апарат подають мінеральну оливу, знизу в трубний простір – воду. Охолоджену оливу спрямовують у реактор для підтримання температурного режиму ізомеризації н-бутану [2].



Розрахункова схема холодильника:
G_m, G_w – витрати мінеральної оливи та води відповідно; θ_{m0}, θ_{m1}, θ_{w0}, θ_{w1} – температури мінеральної оливи, охолодженої мінеральної оливи, води на вході і виході з холодильника відповідно; c_{m0}, c_{m1}, c_{w0}, c_{w1} – питомі теплоємності мінеральної оливи, охолодженої мінеральної оливи, води на вході і виході з холодильника відповідно; M_m, M_w – маси мінеральної оливи та води, що перебувають всередині апарата, відповідно.

Регульованим параметром є температура охолодженої оливи θ_{m1}, керувальний вплив здійснюють витратою води G_w. Основними збуреннями є температура θ_{m0} і витрата G_m мінеральної оливи на вході в холодильник. Контрольована змінна – температура води на виході з апарата θ_{w1}.

Для складання математичної моделі було прийнято такі припущення [2]:

1. Водяний холодильник є об'єктом з зосередженими параметрами;

2. Внутрішній простір водяного холодильника є об'єктом ідеального змішування, тому температури мінеральної оливи всередині й на виході з апарата однакові: $\theta_m = \theta_{m1}$;

3. Простір всередині труб – об'єкт ідеального змішування, тобто температури води всередині й на виході з холодильника однакові: $\theta_w = \theta_{w1}$;

4. Акумулювальна здатність металевих труб несуттєва у порівнянні з загальним енергетичним потоком, тому її можна не враховувати;

5. Втрати в навколишнє середовище є несуттєвими у порівнянні з загальним енергетичним потоком, тому ними можна знехтувати.

Наведемо матеріальні та теплові баланси для акумулювальних ємностей холодильника з урахуванням вказаних припущень.

Матеріальний баланс для потоку води:

$$G_{w0} = G_{w1} = G_w,$$

де G_{w0}, G_{w1} – витрати води на вході і виході з холодильника відповідно.

Тепловий баланс для потоку води:

$$G_w c_{w0}\theta_{w0} - G_w c_{w1}\theta_{w1} + K_h F(\theta_{m1} - \theta_{w1}) = M_w c_{w1}\frac{d\theta_{w1}}{dt},$$

де K_h – коефіцієнт теплопередачі, F – площа поверхні теплообміну.

Матеріальний баланс для потоку мінеральної оливи:

$$G_{m0} = G_{m1} = G_m,$$

де G_{m0}, G_{m1} – витрати мінеральної оливи на вході і виході з холодильника відповідно.

Тепловий баланс для потоку мінеральної оливи:

$$G_m c_{m0}\theta_{m0} - G_m c_{m1}\theta_{m1} - K_h F(\theta_{m1} - \theta_{w1}) = M_m c_{m1}\frac{d\theta_{m1}}{dt}.$$

Після лінеаризації диференціальних рівнянь і перетворення за Лапласом, отримаємо передавальну функцію каналу керування $G_w \to \theta_{m1}$:

$$W_{G_w \to \theta_{m1}}(s) = -\frac{3{,}472}{118{,}602s^2 + 28{,}684s + 1}.$$

Отримана математична модель буде використана в системі керування для налаштування параметрів регуляторів у нормальному режимі функціонування холодильника.

1. Potter M. E., Le Brocq J. J. M., Oakley A. E., McShane E. B., Vandegehuchte B. D., Raja R. Butane Isomerization as a Diagnostic Tool in the Rational Design of Solid Acid Catalysts. *Catalysts*. 2020. No. 10(9):1099. https://doi.org/10.3390/catal10091099.

2. Sullivan D., Metro S., Pujadó P. R. Isomerization in Petroleum Processing. In: Treese S., Jones D., Pujado P. (eds) Handbook of Petroleum Processing. Springer, Cham, 2014. pp. 479 – 497. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05545-9_7-1.

УДК 621.1:681.5

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ КЕРУВАННЯ КОТЛОМ ТЕЦ

Беднарська Я. С., Ярощук Л. Д.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, bednarskapol@gmail.com

Незважаючи на значні досягнення в галузі автоматизації, ще багато функцій керування об'єктами ТЕЦ повинні виконувати працівники. Спектр законів керування, які наразі можуть бути використані, достатньо широкий. Якщо властивості класичних законів можна вважати відомими, то доцільність використання нейромережевих регуляторів (НмР) потребує обґрунтування. Актуальність тематики тез полягає в тому, щоб знайти спосіб з'ясувати перспективність таких засобів штучного інтелекту для теплоенергетичних комплексів.

Метою дослідження є розробка та випробування системи автоматичного керування котлом ТЕЦ з використанням штучної нейронної мережі як регулятора.

На рис. 1 наведено фрагмент схеми автоматизації прямоточного котла. Котел складається з наступних підсистем, які знаходяться під тиском: подового екрану *1*, нижньої *2* (НРЧ) та верхньої *3* (ВРЧ) радіаційної частин, пароперегрівника 4, конвективних пароперегрівників *5*, водяного економайзера *6*, вприскувальних пароохолоджувачів *7*, трубопроводів та елементів котельного допоміжного обладнання.

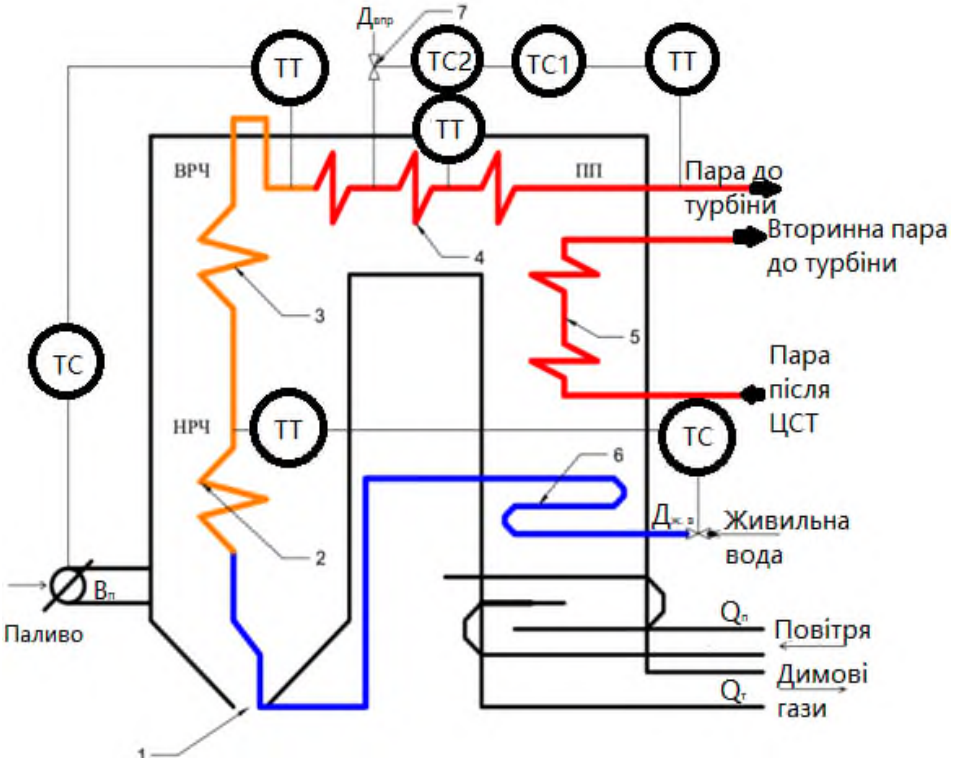


Рис. 1. Фрагмент схеми автоматизації прямоточного котла

Температура пари в різних зонах котла залежить від кількості тепла, що виділяється в зоні топки, та від інтенсивності теплопередачі між різними елементами котла, такими як випарник, пароперегрівач і повторний нагрівач. З точки зору керування можна зазначити, що температура пари визначається витратами

палива, повітря та живильної води. Ці три витрати є керувальними змінними в системі автоматизації різних ділянок водо-паропроводу парогенератора.

Створення нейромережевого регулятора виконувалося в першу чергу для каналу керування «витрата палива – температура пари в кінці ВРЧ».

У стаціонарних умовах швидкість тепловіддачі можна вважати стабільною. Витрата палива є фактором, який безпосередньо впливає на швидкість теплообміну в котлі, її можна точно вимірювати і легко змінювати. Саме цю технологічну змінну вибрано як вхідну для нейронної мережі. Модель технологічного об'єкту за каналом керування може бути записана у виглядіі передавальної функції $W(s)$ виду

$$W(s) = ke^{-\tau s}/(1+Ts),$$

де k – коефіцієнт підсилення; T – стала часу; τ – час транспортного запізнювання.

Нейронні мережі дозволяють відтворювати нелінійні процеси в об'єктах керування, підбираючи необхідну кількість прихованих шарів або кількість нейронів у кожному шарі [1]. Важливим етапом проєктування НмР є його навчання.

У системі *MatLab Simulink* була створена імітаційна модель замкненої системи керування з ПІД-регулятором з метою отримання даних для навчання мережі. Вхідні значення не повинні повторюватися, оскільки це впливає на перебіг навчання нейронної мережі та знижує її точність [2].

На рис. 2 наведено *Simulink*-модель замкненої системи керування з нейрорегулятором, для навчання якого використані дані замкненої системи з ПІД-регулятором.

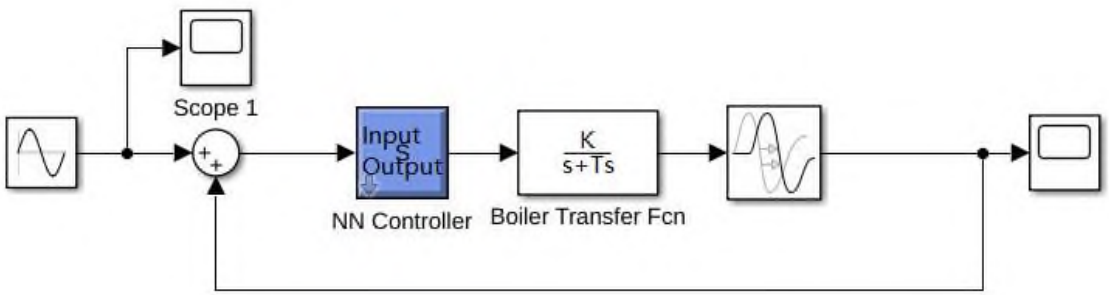


Рис. 2. *Simulink* – модель системи керування з нейрорегулятором

Отримані результати дозволяють з'ясувати особливості вибору того чи іншого способу формування навчальної вибірки і подальшого налаштування нейрорегулятора. Проведені дослідження надають можливість планування подальших експериментів для уточнення переваг та недоліків цього алгоритму керування.

1. Sabanin V R, Dementev D A and Kazmiruk I Y. Application of neural networks as a regulator in two-circuit automatic control systems, *Young scientist*, 2019. P. 491–96

2. J. Samrekar, M. Assadi, M. Fast, I. Kustrin and S.De. Development of artificial neural network model for a coal fired boiler using real plant data, *Energy Vol*. 3, 2009. P. 144–152.

УДК 681.5: 004.45

МОЖЛИВОСТІ СИСТЕМИ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ *MYSCADA* У РОЗРОБЛЕННІ МНЕМОНІЧНИХ СХЕМ ОБ'ЄКТІВ КЕРУВАННЯ. ПОВІДОМЛЕННЯ 1

Юхимович А. М., Стороженко П. О., Складанний Д. М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, yukhymovych.a@gmail.com

Система диспетчеризації *mySCADA* – це *HMI/SCADA*-система, призначена для візуалізації управління промисловими процесами. Це програмне середовище використовується для розроблення системами автоматизації та візуалізації процесів у різних галузях із застосуванням людино-машинних інтерфейсів, яке дозволяє створювати інтерактивні інтерфейси, що дають змогу моніторити, керувати та аналізувати стан об'єктів та систем керування у режимі реального часу. Одним з ключових елементів проекту *mySCADA* є мнемонічна схема об'єкта керування. Така схема передбачає умовне зображення керованого об'єкту за допомогою символів і індикаторів і будується графічними засобами *mySCADA* [1].

На початковому етапі створення *HMI/SCADA* проєкту *mySCADA* застосовується редактор *myDesigner* [1]. Після створення нового проєкту, перед користувачем відкривається робочий простір, який вміщує в собі ключові елементи для розроблення та набір відповідних елементів. В лівій частині вікна розміщується дерево проєкту, яке поєднує окремі його складові частини. Над робочим простором розміщується панель інструментів, які використовуються у копіюванні, видаленні, редагуванні створених об'єктів. У правій частині вікна розміщується набір компонентів, за допомогою яких ми можемо створювати схеми. Створення мнемосхеми починається з додавання до проєкту відповідного об'єкта. Візуальне вікно для розроблення мнемонічної схеми подано на рис. 1.

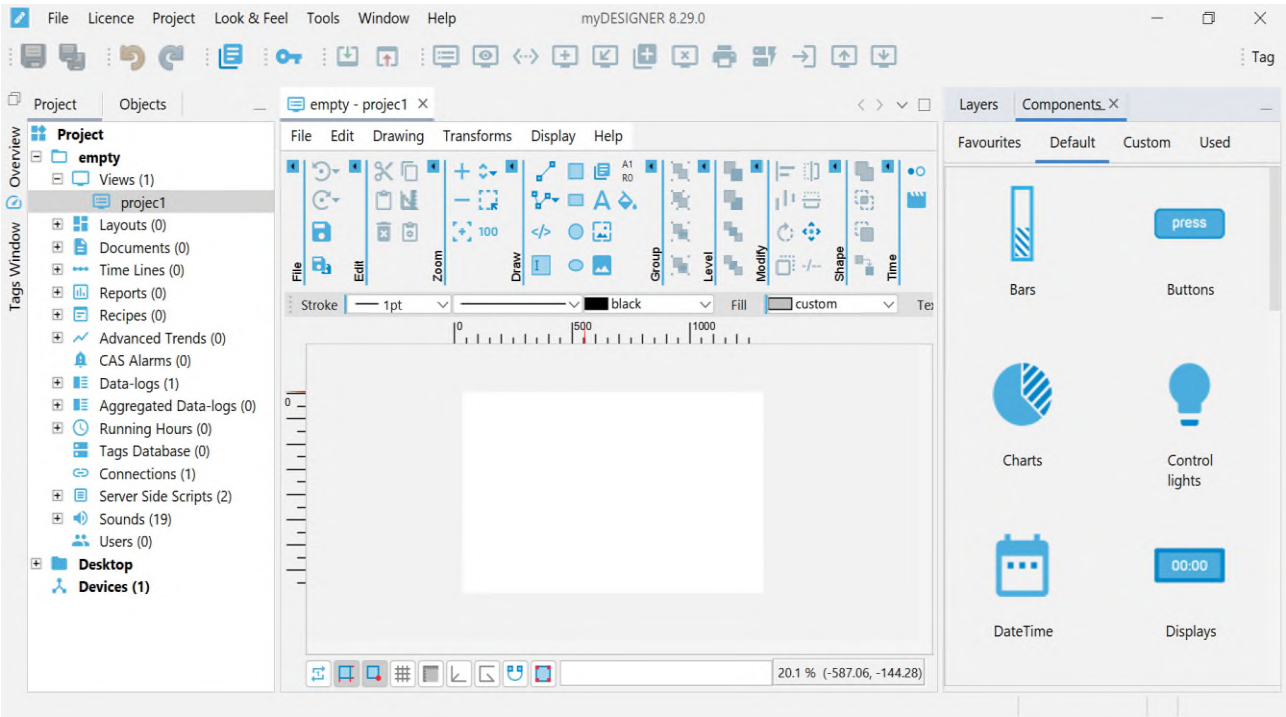


Рис.1. Робоче вікно розроблення мнемонічних схем у *myDesigner*

Модуль *myDesigner* містить набір стандартних інструментів, які полегшують розроблення мнемонічних схем процесів. Для прикладу наведемо набір інструментів побудови трубних проводок (*Pipes*), який зображено на рис. 2.

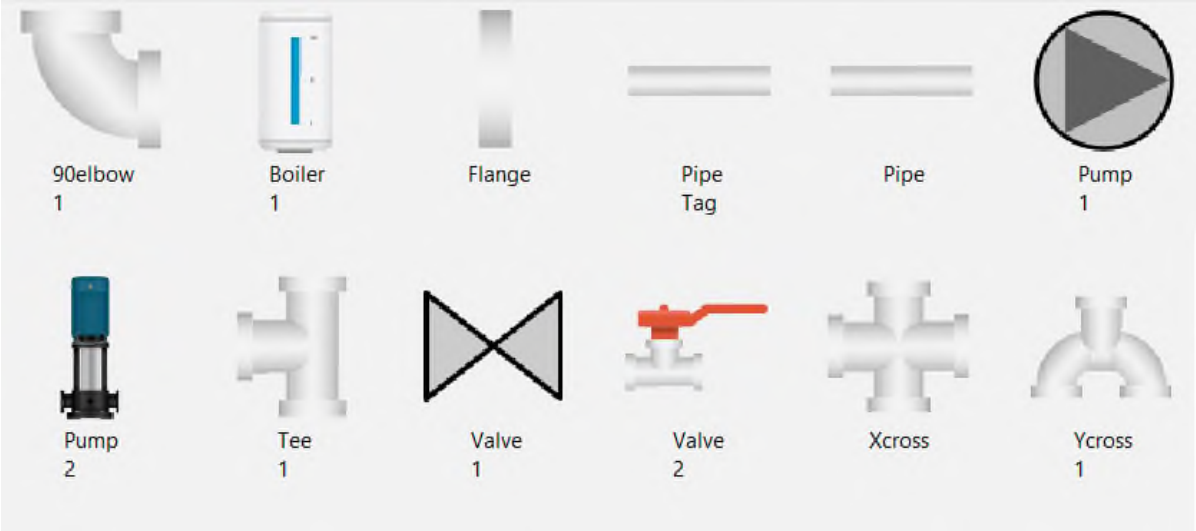


Рис.2. Інструменти *Pipes* в програмному середовищі *myDesigner*

Приклад використання цих інструментів для побудови частини схеми виробництва оцтової кислоти [2] наведено на рис. 3.

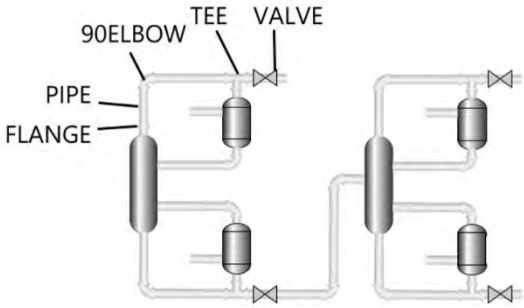


Рис. 3. Частина схеми виробництва оцтової кислоти

Отримана частина використовується у подальшому проєктуванні схеми автоматизації виробництва. Більш детально розроблення технологічної частини мнемонічної схеми описано у другому повідомленні.

1. MyDesighner SoftWare Tool. URL : https://www.myscada.org/mydesigner/ (дата звернення 01.04.2023).

2. Jane H. Jones. The Cativa™ Process for the Manufacture of Acetic Acid: Iridium catalyst improves productivity in an established industrial process. *Platinum Metals Review*., 2000, 44 (3). Pp. 94–105.

УДК 66.023.23

СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ САТУРАТОРОМ В ПРОЦЕСІ ПАРО-ВОДНЕВОЇ КОНВЕРСІЇ МЕТАНУ

Жлобінська К. Ю., Ситніков О. В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, evil.666.buny@gmail.com

Паро-воднева конверсія метану – це процес перетворення метану на водень і вуглець методом реакції з теплотоносієм, насиченим водяною парою.

Основними етапами процесу виступають: насичення метану та парафін-теплоносія водяною парою; нагрівання суміші метану та теплоносія; під високою температурою реакція метану з водяною парою теплоносія з утворенням водню та вуглецю (вуглекислого газу); охолодження отриманого газового продукту та відділення на складові (водень та вуглекислий газ) [1].

В процесі паро-водневої конверсії метану очищений від сполук сірки природний газ надходить в сатуратор, де змішується з водяною парою в співвідношенні H_2O : газ = 4:1. Новоутворена парогазова суміш підігрівається до 380 °С в теплообміннику і подається в трубчастий конвертер парової конверсії метану. Відтак для утворення парогазової суміші, придатної для передачі її в трубчастий конвертер парової конверсії метану слід дотримуватись температурного режиму при процесі підігрівання, для чого, відповідно, необхідно регулювати витрати водяної пари спрямованої на нагрівання новоутвореної парогазової суміші [2].

Завданням системи керування є підтримання температури підігріванняпарогазової суміші на виході з сатуратора на заданому рівні.

Метою роботи є синтез системи керування з ПІ-регулятором. Для до- слідження та розрахунку параметрів регулятора обрано метод Ціглера-Нікольса,який дозволяє забезпечити необхідний запас стійкості у системі керування [3].

Передавальна функція об’єкта керування за каналом «витрата водяної пари – температура парогазової суміші» має вигляд

$$W_{ob}(p)=19{,}022/\ (0{,}783p+1).$$

Виконаємо розрахунок параметрів налаштування ПІ-регулятора

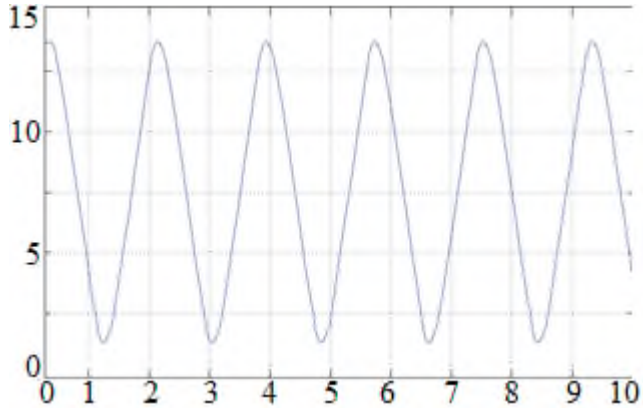


Рис.1. Вигляд перехідного процесу замкненої системи в режимі автоколивань

Розрахунок виконаний методом Ціглера-Нікольса, що передбачає виведення перехідного процесу системи в режим автоколивань, приклад якого наведено на рис. 1, та отримання значень критичних параметрів налаштування регулятора.

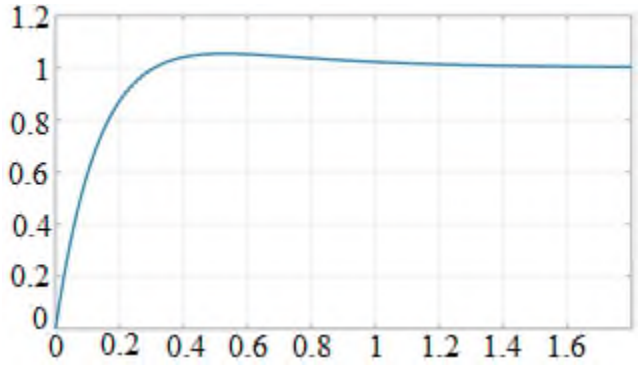


Рис. 2. Перехідний процес замкненої системи з ПІ-регулятором

В результаті аналізу отриманих результатів отримано перехідну характеристику замкненої одноконтурної системи, по вигляду можна зробити висновок, що система має велику швидкодію та забезпечує нульову статичну похибку регулювання.

1. Яворський В. Т., Перекупко Т. В., Знак З. О., Савчук Л. В. Загальна хімічна технологія : Підручник. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка»,2005. 552 с.

2. Лукінюк М. В. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами: у 2 кн. Кн. 2. Керування хіміко-технологічними процесами : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом: «Хімічна технологія та інженерія». Київ: НТУУ «КПІ», 2012. ISBN 978-966-622-531-6 (Кн. 2).

3. Кубрак А. І., Жученко А. І., Кваско М. З. Комп’ютерне моделювання та ідентифікація автоматичних систем : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів, які навчаються за напрямом «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» / НТУУ «КПІ». К.: Політехніка, 2004. 424 с. ISBN 966-622-175-6.

УДК 665.642

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КАТАЛІЗАТОРІВ У ВИРОБНИЦТВІ МЕТАНОЛУ ЗА ТРИФАЗНОЮ СХЕМОЮ

Коблай В. В., Бугаєва Л. М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, chabrareserve@gmail.com

Виробництво метанолу є важливою складовою хімічної промисловості та має значний вплив на економіку країни. Одним із ключових елементів у цьому процесі є каталізатор, який використовується у виробництві. Дослідження та вибір каталізаторів має велике значення для підвищення ефективності та економії виробництва метанолу. Результати дослідження можуть бути корисними для підприємств, що займаються виробництвом метанолу, оскільки оптимізація виробництва за допомогою каталізаторів може значно впливати на якість та вартість продукції.

Первинне завдання проведеного аналізу полягає в порівнянні ефективності каталізаторів, які використовуються у трьохфазній схемі виробництва метанолу. З метою забезпечення оптимальної продуктивності та якості виробів, дослідження зосереджено на таких параметрах як активність каталізатора, вибір каталізатора, швидкість реакції та кількість отриманого метанолу. Також важливо враховувати витрати на виготовлення, тривалість роботи та екологічні впливи. У процесі дослідження мають використовуватися різні методи аналізу та випробування. Попередньо був проведений аналіз хімічної активності каталізаторів, їх фізико-хімічних властивостей та поверхневої реактивності. Також розглядалася кінетика реакцій для вимірювання швидкості реакції.

Як відомо, можливих каталізаторів для даного виробництва метанолу безліч, деякі з них на основі міді, цинку, кобальту, нікелю, хрому та різних видів оксидів металів [1, 2].

У порівнянні з іншими, каталізатори на основі міді, цинку та алюмінію (Cu-Zn-Al) є одними з найпоширеніших та найкращих з огляду на їх ефективність, економічність та екологічність каталізаторів для виробництва метанолу. У поєднанні в одному каталізаторі названі речовини мають високу активність (адсорбція та десорбція газів; диспергування активних компонентів), вибірковість та стабільність (дифузія), що забезпечує їх ефективну роботу. Каталізатори на основі міді, цинку та алюмінію також мають високу поверхневу площу та наявність активних центрів на поверхні, що сприяє взаємодії з реагентами та продуктами реакції.

За даними розрахунків, що наводяться в публікаціях [3], енергія активації для синтезу метанолу без каталізатору становить 100 кДж/моль, а із заданим каталізатором зменшує енергію активації приблизно на 30…40 кДж/моль, що прямолінійно впливає на виробництво метанолу оскільки пришвидшує реакцію синтезу.

Відповідно до рівняння Ареніуса:

$$k = A\, e^{\frac{-Ea}{R*T}} \ ,$$

де k – швидкість реакції, A – преекспоненційний фактор, E_a – енергія активації, R – газова стала, T – температура в К.

Наприклад, якщо T = 500, $A = 1 \cdot 10^8\ \mathrm{M}^{-1\cdot\mathrm{c}^{-1}}$, тоді за умови використання каталізатора на основі міді, цинку та алюмінію маємо E_a = 60, k = 53,903, а без каталізатора відповідно буде E_a = 100, k = 0,0036.

Можна також виділити родієві каталізатори (Rh) та паладієві каталізатори (Pd-Zn). Ці каталізатори підходять у тому разі, коли виробництво потребує високої конверсії сировини, але їх висока вартість обмежує їх широке застосування. Крім того, можна використовувати каталізатори на основі різних оксидів металів, таких як оксиди молібдену, ванадію та титану. Вони також мають високу активність та вибірковість, але їх використання є дорожчим порівняно з іншими каталізаторами.

У виконаному дослідженні було проведено порівняльний аналіз різних каталізаторів і встановлено, що поєднання таких речовин, як мідь, цинк та алюміній в одному каталізаторі є найоптимальнішим вибором. Дослідження показали, що кожна з названих речовин у поєднанні в єдиному каталізаторі забезпечують високу конверсію, що відповідно дозволяє знизити витрати на енергію та скоротити час реакцій, не ризикуючи стабільністю виробництва. Використання такого каталізатора може значно покращити ефективність процесу та знизити витрати на виробництво, що робить такі каталізатори вигідним вибором для компаній, які займаються виробництвом метанолу.

1. G. Rothenberg, Catalysis: Concepts and Green Applications, 2015.

2. Bugaieva, L., Shahan, D., Beznosyk, Y. (). Selection of catalysts for the process of oxidative condensation of methane using the intelligent decision support system. Technology Audit and Production Reserves, 1 (3 (51)), 4–10. 2020. doi: http://doi.org/10.15587/2312-8372.2020.198335.

3. Dinjus E., Bahl M., Sardar R. Catalytic methanol synthesis–A short review on reactor concepts, catalysts, and process technology. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. 2004.

УДК 665.64

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА ТЕМПЕРАТУРИ КИП'ЯТИЛЬНИКА У ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА КРЕКІНГ-БЕНЗИНУ

Волківський І.О., Складанний Д.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, i.volkivskyy-ktpza24@lll.kpi.ua

Крекінгове перероблення бензину здійснюється на газофракціонуючих установках. У дані роботі досліджувалося виробництво бензину у газофракціонуючій установці абсорбційно-ректифікаційного типу. Стиснутий в компресорі крекінг-газ охолоджується в холодильнику, змішується з нестабільним бензином і подається до фракційного абсорбера-десорбера, який зрошується стабільним бензином. У верхній частині абсорбера-десорбера з крекінг-газу вилучаються вуглеводні C_3-C_4. Нижня частина абсорбера-десорбера обігрівається стабільним бензином, який циркулює через кип'ятильник. У цій частині відбувається десорбція легких вуглеводнів з розчину і регенерація абсорбенту. Кип'ятильник, у свою чергу обігрівається гріючою водяною парою. В результаті з верхньої частини абсорбера виходить «сухий газ», що містить водень і вуглеводні фракції C_1–C_2, а з нижньої, разом з регенерованим абсорбентом, виводяться вуглеводні C_3–C_4. Насичений ними бензин послідовно проходить дві ректифікаційні колони. З верху колони першої колони відбирається фракція газу C_3, з другої – фракція C_4. Для повноти відгону вуглеводнів з бензину, певна їх частина конденсується в холодильниках і спрямовується на зрошення колон. Стабільний бензин виводиться з кубового залишку другої колони і надходить у сховища [1].

Для коректного протікання процесу десорбції у нижній частині апарату, необхідно регулювати температуру бензину, яким ця частина абсорбера-десорбера обігрівається. Для цього, відповідно, необхідним є регулювання процесом, що відбувається у кип'ятильнику за каналом «витрата гріючої пари (сигнал керування) – температура бензину (вихідний сигнал)». Відтак метою роботи є синтез одноконтурної замкнутої схеми регулювання витратою водяної пари, яка забезпечить таку температуру стабільного бензину, що дозволить забезпечити стійкість процесу та максимальну швидкодію системи, не виходячи за рамки технологічного регламенту.

Передавальна функція обраного об'єкту дослідження – кип'ятильника – за каналом регулювання «витрата водяної пари – температура» описується рівнянням аперіодичної ланки 1-го порядку

$$W_1(p) = 91/(p + 1);$$

$$W_2(p) = 6/9(p + 1);$$

$$W(p)=W_1(p)\cdot W_2(p)=546/[(p + 1)\ (9p + 1)].$$

Виходячи з рекомендацій, викладених, наприклад, у [2], схему регулювання за зазначеним каналом реалізуємо з використанням пропорційно-інтегрального регулятора. На рисунку 1 подано розрахункову схему одноконтурної замкненої системи регулювання, реалізовану засобами *MATLAB Simulink*.

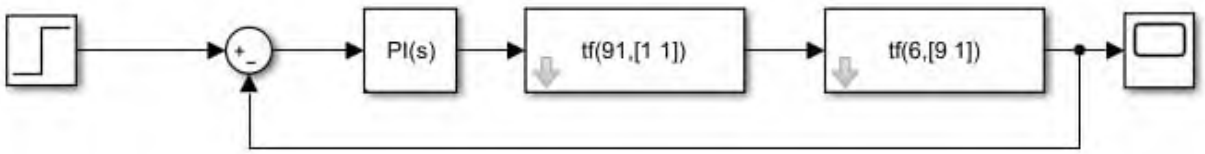


Рис. 1. Розрахункова схему одноконтурної замкненої системи регулювання у *MATLAB Simulink*

За результатами аналізу системи керування методом перехідного режиму отримані оптимальні значення параметрів налаштування ПІ-регулятора: $K_p = 0{,}00072$; $T_i = 0{,}74 \cdot 10^{-4}$. Перехідну характеристику замкненої одноконтурної системи з ПІ–регулятором для каналу керування «витрата водяної пари – температура бензину» наведено на рисунку 2.

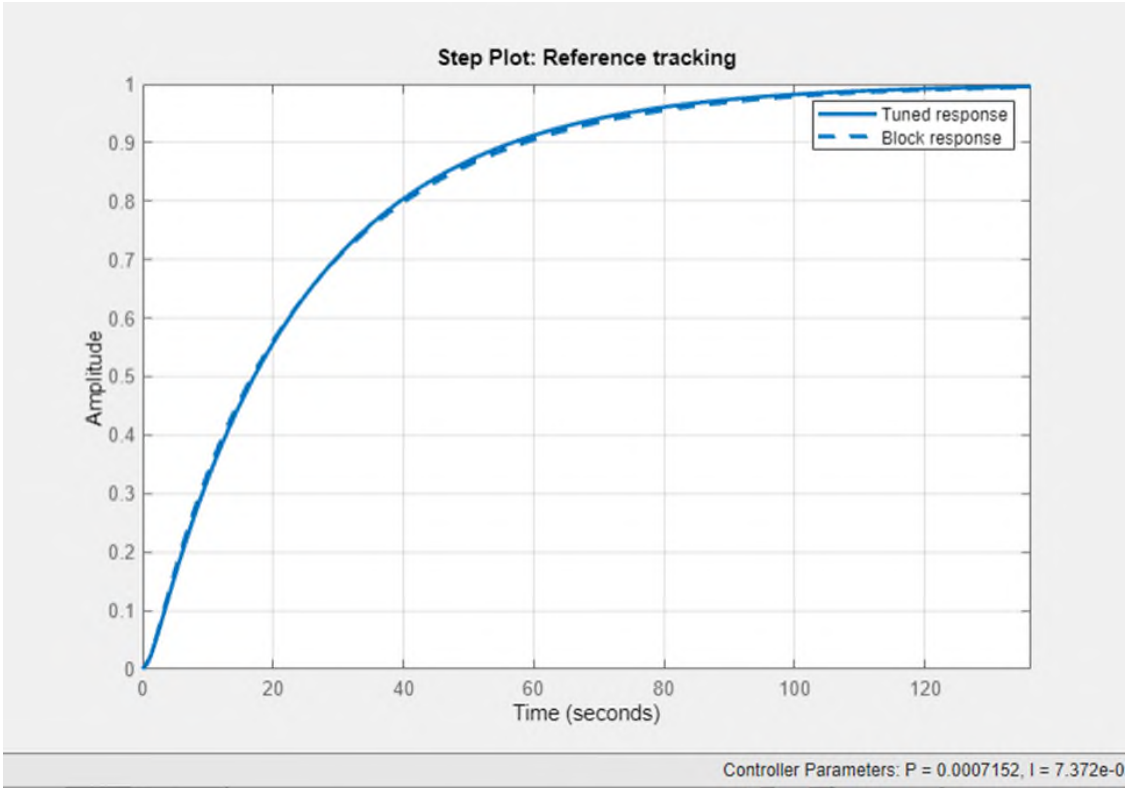


Рис 2. Перехідна характеристика за каналом регулювання

В результаті проведеної роботи була синтезована одноконтурна замкнена система з ПІ-регулятором, яка забезпечує незначене перегулювання та оптимальну швидкодію системи регулювання.

1. Уминський С. М., Чучуй В. П., Інютін С. В. Альтернативні джерела енергії : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Одеса : ТЕС, 2015. 495 с.

2. Кубрак А. І., Жученко А. І., Кваско М. З. Комп’ютерне моделювання та ідентифікація автоматичних систем : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. К.: Політехніка, 2004. 424 с. ISBN 966-622-175-6.

УДК 004.9

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ СУМІШІ СУЛЬФУРОВАНОГО АЛКІЛБЕНЗОЛА З ТРИОКСИДОМ СІРКИ

Крижовський В. О., Ситніков О. В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, wladek033@gmail.com

В роботі розглянуто процес сульфування синтетичних жирних спиртів. Під час сульфування температуру спиртів підтримують за рахунок циркуляції частини сульфоефірів, які прокачують насосом через холодильник [1]. На виробництві відбувається сульфурування алкілбензола газоподібним триоксидом сірки. Основним апаратом виступає холодильник, що виконує задачу по охолодженню оборотною водою. Температуру реакції підтримують за допомогою регулювального клапана, встановленого на трубопроводі охолоджуваної води [1].

Метою роботи є синтез системи керування подачі оборотної води для охолодження суміші, а також забезпечення умов швидкодії процесу керування.

Надійність сучасного виробництва залежить від якості налаштувань регулятора. Система керування з ПІ-регулятором представлено на рис. 1.

Рис. 1. Замкнена одноконтурна система керування

За результатами синтезу системи керування методом М-кола [2] були отримані значення параметрів налаштування ПІ-регулятора: K_r = 2,6 та T_i = 0,046.

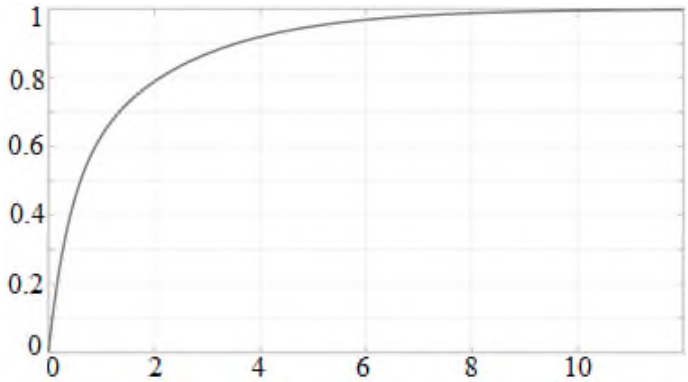


Рис. 2. Перехідний процес системи керування з ПІ-регулятором

В результаті було створено та синтезовано систему керування подачею води та отримано параметри налаштування ПІ-регулятора.

1.Яворський В. Т., Перекупко Т. В., Знак З. О., Савчук Л. В. Загальна хімічна технологія : підручник. Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2005. 552 с.

2. Кубрак А. І., Жученко А. І., Кваско М. З. Комп'ютерне моделювання та ідентифікація автоматичних систем : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів, які навчаються за напрямом «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / НТУУ «КПІ». К.: Політехніка, 2004. 424 с. ISBN 966-622-175-6.

УДК 004.942

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КУБА РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ У ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА АЛКІЛБЕНЗОЛУ ХЛОРНИМ МЕТОДОМ

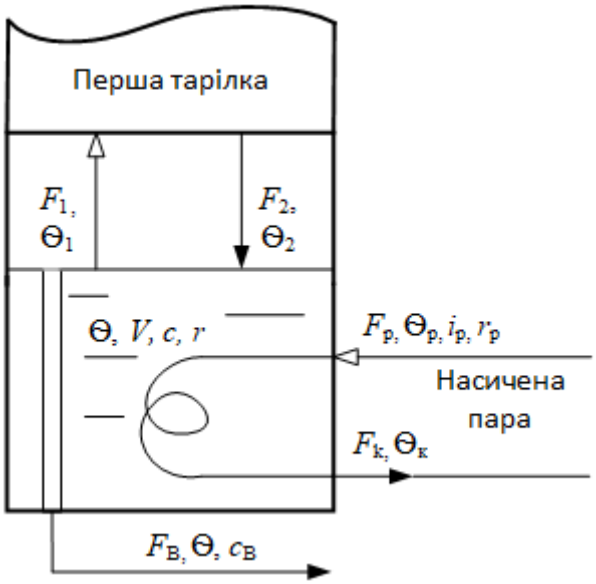
Бояковський Д. А., Ладієва Л. Р., Козаневич З. Я.
КПІ ім.Ігоря Сікорського, dan.boy601@gmail.com

Алкілбензоли є важливими хімічними сполуками, які знаходять широкезастосування в промисловості. Вони використовуються як розчинники для виробництва герметиків та клеїв, які знаходять застосування в різних галузях, включаючи автомобільну промисловість та будівництво.

Алкілбензоли отримують хлорним методом шляхом алкілювання бензолу з використанням хлоровмісних реагентів і каталізаторів.

Якість продукту визначається дотриманням параметрів роботи ректифікаційної колони (РК), як кінцевого процесу, зокрема температури в кубі РК. Оптимальне керування цього параметру визначено внаслідок математичного моделювання як технологічного об'єкту, так і самого процесу керування.

Розрахункова схема для створення математичної моделі процесів в кубі РК наведена на рисунку.



Розрахункова схема об'єкта:

F_1, F_2, F_B, F_p, F_k – витрата парової суміші кубу на першу тарілку РК, витрата рідини з першої тарілки в куб РК, витрата кубового залишку РК, витрата насиченої пари в РК, витрата насиченої пари на виході з РК; Θ, Θ_1,Θ_2, Θ_p, $\Theta_к$ – температура рідини в РК, температура парової суміші кубу, температура рідини з першої тарілки в куб РК, температура насиченої пари в РК, температура конденсату на виході з РК; V,V_p – об’єм кубового залишку і пари; r, r_p – питома теплота пароутворення рідини в кубі РК і води; c, c_p – питомі теплоємності рідини в кубі РК і водяної пари

Математична модель складена на основі теплових балансів для акумулюючих тепло ємностей при наступних допущеннях:

- враховані дві теплові ємності: кубового залишку внизу РК і пари у вбудованому теплообміннику;

- теплофізичні параметри середовищ постійні;

- акумулюючі ємності як кубового залишку так і пари є об'єктами повного перемішування;

- об'єм рідини в кубі РК постійний тобто: $F_B = F_2 - F_1$;

- кількість випареної з кубу РК рідини F_1 пропорційна кількості переданого від пари тепла:

$$F_1 = a\left(F_p i_p - F_k C_k \Theta_k\right) = aF_p r_p \quad (1)$$

- втратами тепла в зовнішнє середовище знехтувано.

Рівняння теплового балансу для кубового залишку:

$$F_2 c\Theta_2 - F_1(c\Theta + r) - F_B c\theta + kS_k\left(\Theta_\rho - \Theta\right) = \frac{d}{dt}(V\rho c\Theta) \quad (2)$$

Рівняння теплового балансу для теплоносія:

$$F_p(i_r - i_k) - kS_k\left(\Theta_p - \Theta\right) = V_\rho \rho_p c_p \frac{d\Theta_p}{dt} \quad (3)$$

Система рівнянь (2)-(3) з врахуванням (1) складають математичну модель технологічного об’єкту керування в розмірних одиницях. Для використання цієї моделі з метою визначення оптимального керування проведена її лінеаризація в точці основного статичного режиму з врахуванням змінних:

- параметрів стану:
  - регульованої величини Θ;
  - проміжної величини Θ_p.
- зовнішних впливів:
  - керівної дії F_p;
  - збурення F_2.

В результаті лінеаризації отримана система рівнянь, що складає математичну модель об’єкта у відхиленнях

$$\frac{d\theta}{dt} = a_{11}\theta + a_{12}\theta_p + b_1 F_p + c_1 F_2 \quad (4)$$

$$\frac{d\theta_p}{dt} = a_{21}\theta + a_{22}\theta_p + b_2 F_p + c_2 F_2 \quad (5)$$

де

$$a_{11} = \frac{c(2F_2 - aF_{p0}r_p - F_1) - kS_k}{V\rho c};\ a_{12} = \frac{kS_k}{V\rho c};\ b_1 = \frac{ar_p(c\theta_0 + r)}{V\rho c};\quad c_1 = \frac{c(\theta_2 - 2\theta_0)}{V\rho c};$$

$$a_{21} = \frac{kS_k}{V_\rho p_\rho c_\rho};\ a_{22} = -\frac{kS_k}{V_\rho \rho_\rho c_\rho};\ b_2 = \frac{r_\rho}{V_\rho \rho_\rho c_\rho};\ c_2 = 0;$$

З метою підвищення ефективності процесу може бути виконаним дослідження системи оптимального керування технологічного процесу на основі наведеної математичної моделі (4) – (5).

УДК 681.5: 004.45

МОЖЛИВОСТІ СИСТЕМИ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ *MYSCADA* У РОЗРОБЛЕННІ МНЕМОНІЧНИХ СХЕМ ОБ'ЄКТІВ КЕРУВАННЯ. ПОВІДОМЛЕННЯ 2

Калічак Ю. І., Складанний Д. М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, kalichak.yurii@lll.kpi.ua

Мнемосхеми є важливим інструментом управління виробничими процесами, що дозволяють операторам контролювати роботу різних систем та обладнання. Система диспетчеризації *mySCADA* – це програмне забезпечення, призначене для створення мнемосхем та інтерфейсів управління, що відповідає всім сучасним вимогам Індустрії 4.0 [1]. Для аналізу можливостей графічного редактору *myDesigner*, який є частиною *mySCADA* розробимо мнемосхему для виробництва етанової кислоти карбонілюванням метанолу за методом *Cativa* [2]. Для створення апаратів різних форм передбачено інструменти: коло, еліпс, квадрат та прямокутник. Для конструювання інших форм передбачені команди об'єднання та перетину. У процесі побудови трубопроводів, передбачається запірна арматура та роздільні конструкції, такі як фланці або нарізні з'єднання, для демонтажу та обслуговування конструкції.

Побудова апарата. У процесі графічної побудови мнемонічних схем, фізико-хімічні процеси, які протікають в апаратах не враховуються. У випадку процесів хімічної технології прийнято зображати окремі апарати певним графічним символом без врахування його реальних розмірів. Побудову такого зображення розберемо на прикладі колони. Як основа використовується графічний об'єкт «прямокутник» панелі інструментів рисування. Для естетичного оформлення об'єкту застосовується інструмент заповнення – *Fill*, пункт *Resources* (рис. 1).

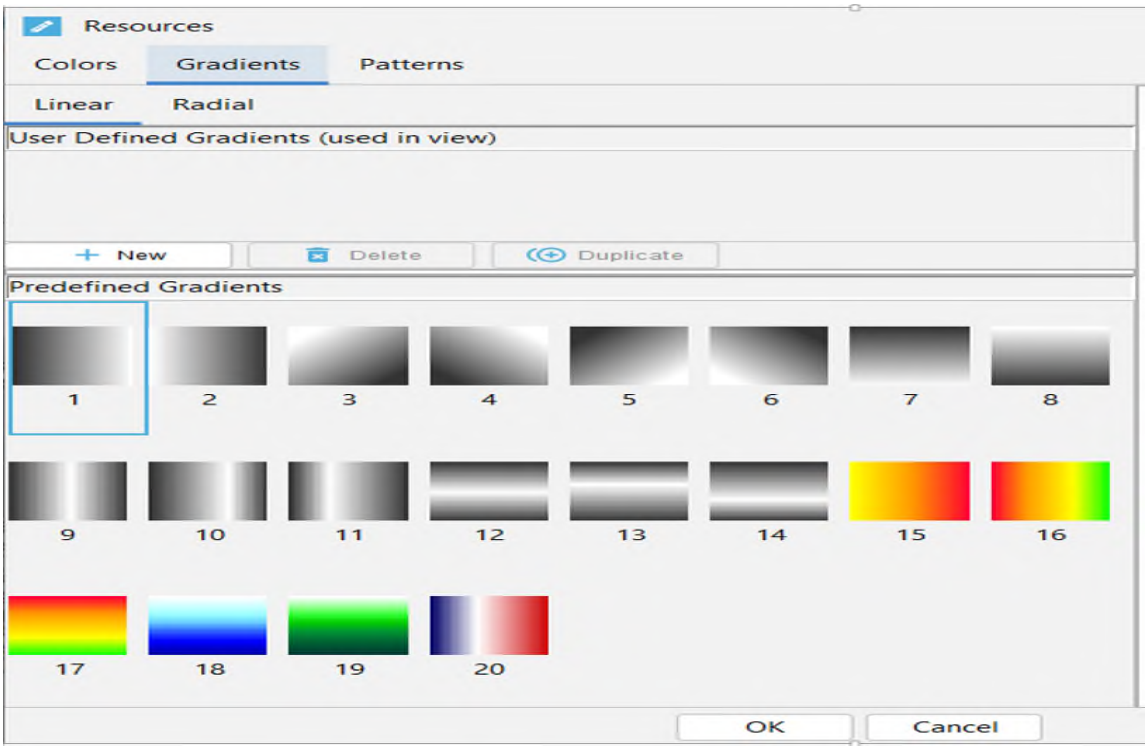


Рис. 1. Встановлення параметру *Resources* у середовищі *myDesigner*

Побудова вентиля. Використовується графічний об’єкт вентиль, *Valve*, з панелі стандартних компонентів. Щоб конструкція була повною необхідно додати елементи: труба та фланці (рис. 2, лівий).

Побудова насоса. Використовується графічний об’єкт насос, *Pump*, з панелі стандартних компонентів. Для об’єкта застосовуються елементи: труба, фланці та вентилі (рис. 2, правий).

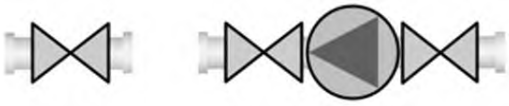


Рис.2. Побудова вентиля (зліва) та насоса (справа) на мнемонічній схемі у середовищі *myDesigner*

Технологічна частина мнемонічної схеми, реалізована засобами *myDesigner*, наведена на рис. 3.

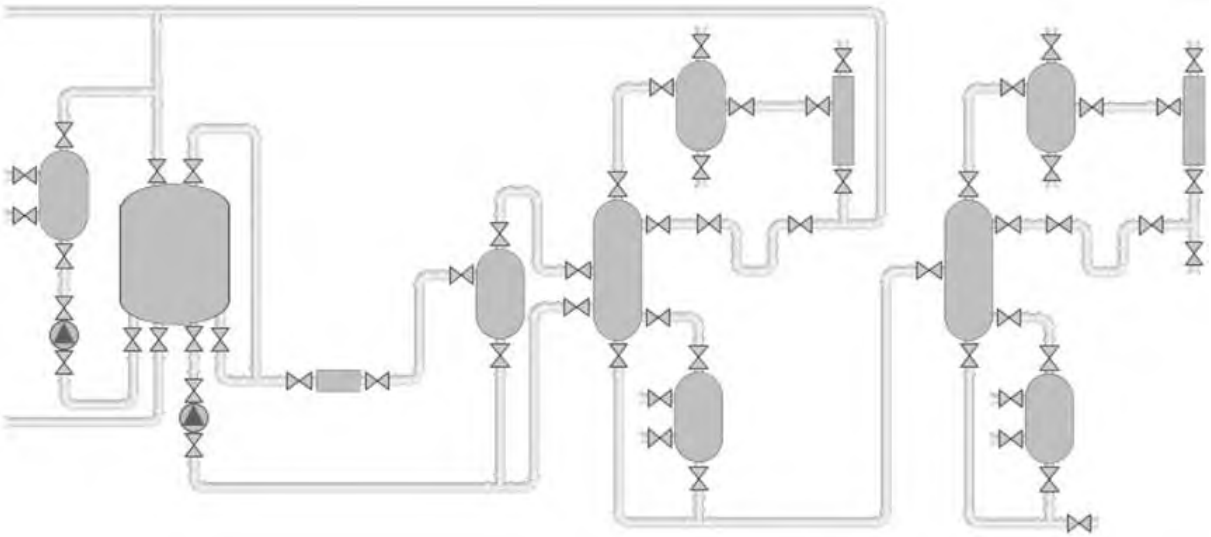


Рис.3. Мнемосхема виробництва етанової кислоти за методом Cativa. Технологічна частина схеми

Отже, *mySCADA* є потужним та універсальним програмним забезпеченням, яке може значно полегшити процес розробки мнемосхем в різних галузях промисловості. Отримана схема може бути використана для розроблення системи диспетчеризації виробництва етанової кислоти. Проте мнемонічна схема, яка застосовується для диспетчеризації технологічних процесів передбачає наявність не лише зображення технологічної схеми, а і основних засобів контролю керування та сигналізації. Розроблення цієї частини мнемонічної схеми розказано у третьому повідомленні.

1. MyDesighner SoftWare Tool URL https://www.myscada.org/mydesigner/ (дата звернення 01.04.2023)

2. Jane H. Jones. The Cativa™ Process for the Manufacture of Acetic Acid: Iridium catalyst improves productivity in an established industrial process. *Platinum Metals Review*., 2000, 44, (3). pp. 94105.

УДК 004.896

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИРОБЛЕННЯ БІОГАЗУ ШЛЯХОМ АНАЕРОБНОГО ЗБРОДЖУВАННЯ

Городній Ю. С., Бунь В. П.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, yurahorodnii@gmail.com

З початком урбанізації переробка відходів стало світовою проблемою. Зважаючи на зростаючі потреби в електроенергії, необхідно зосередитися на технологіях з низьким вмістом вуглецю, які не загострюють проблему глобального потепління.

Анаеробне зброджування є одним із таких процесів, який не тільки зменшує кількість органічних відходів, але й виробляє енергію у формі біогазу. Біогаз являє собою суміш метану, вуглекислого газу, сірководню, водню, аміаку та деяких інших мікроелементів. Головна мета використання цієї технології для переробки відходів полягає в тому, щоб використати енергетичний вміст біогазу, для таких цілей, як когенерація тепла та електроенергії, транспортне паливо, котли, кухонні плити або впорскування в мережу природного газу [1].

Анаеробні реактори розроблені з урахуванням стабільних умов роботи, які рідко зустрічаються. Насправді процес піддається значним коливанням потоку та навантаженню, що призводить до зниження продуктивності та погіршення якості біогазу. Моделювання процесу є доцільним рішенням, оскільки воно дозволяє контролювати та прогнозувати поведінку системи навіть у перехідних умовах.

Процеси анаеробного зброджування досить складні і часто страждають від нестабільності. Така нестабільність зазвичай призводить до таких явищ, як зниження швидкості видобутку метану, зниження pH, підвищення концентрації летких жирних кислот (ЛШК), що призводить до збоїв у роботі біореакторів. Це зумовлено такими факторами, як перевантаження в харчуванні біореактора або недовантаження, дією інгібітора, недостатнім контролем температури. Для того, щоб проектувати та ефективно оперувати анаеробними системами зброджування повинні бути розроблені відповідні математичні моделі.

Існує декілька математичних моделей для моделювання анаеробного зброджування. Основна перевага використання цих моделей полягає в тому, що вони допомагають отримати чітке розуміння динаміки процесу. Модель анаеробного зброджування (ADM1), розроблена Batstone, D.J. [3], є однією з найбільш широко використовуваних математичних моделей для анаеробного зброджування. ADM1 включає чотири основні стадії анаеробної деградації — гідроліз, ацидогенез, ацетогенез і метаногенез. Крім того, включені різні фізико-хімічні реакції, приклад кислотно-лужний баланс. Всього 29 процесів, 37 фракцій і більше 100 параметрів. З цієї причини калібрування моделі (параметрів) становить серйозну складність, але вже є широкий спектр публікацій, що описують успішне застосування ADM1 для моделювання біогазових установок з великою кількістю різних субстратів і режимів роботи. Крім того, ADM1 використовувався для прогнозування, оптимізації та гнучкої

роботи біогазових установок. Відкалібрована модель ADM1 також може бути використана для виявлення проблем, викликаних, наприклад, ефектами інгібування або накопиченням органічних кислот. У моделі задіяні кілька етапів, що включають біохімічні та фізико-хімічні процеси. Однак для моделювання необхідна велика кількість попередньої інформації, яка потребує великої бази даних. Через складність процесу анаеробного зброджування та залучення кінетики біомаси не завжди можливо визначити математичне рівняння. Це вимагає використання штучного інтелекту.

Якість моделі залежить від якості та точності базових наборів даних, які використовувалися для калібрування моделі. Повинна бути кореляція між вхідними значеннями та відповідними вихідними значеннями. Необхідно переконатися, що кожне вхідне значення, яке надходить у біогазовий реактор у момент часу t, співвідноситься з кінцевим вихідним значенням, яке залишає реактор у момент часу $t + \Delta t$. Цей часовий зсув Δt визначити нелегко, оскільки на нього впливає кілька факторів (наприклад, потоки та змішування всередині реактора). Крім того, набори даних, а також отримана модель базуються на поточних умовах (наприклад, склад використовуваних субстратів, змішування та дозування різних субстратів).

Отже, анаеробне зброджування є ефективною технологією, яка може вирішити дві важливі екологічні проблеми - зменшення кількості відходів та виробництво енергії з використанням біогазу. Використання біогазу є стійким та екологічно чистим рішенням для різних цілей, таких як когенерація енергії, транспорт, побутове опалення та готування їжі. Моделювання анаеробного зброджування є важливим інструментом для оптимізації технології виробництва біогазу, зменшення втрат та підвищення ефективності, оскільки дозволяє прогнозувати процеси зброджування та виробництва біогазу, а також визначати оптимальні умови для підвищення виробництва біогазу та зниження втрат. Враховуючи зростаючі потреби в енергії та необхідність зменшення відходів, моделювання анаеробного зброджування є важливим інструментом для забезпечення сталого розвитку та збереження довкілля.

1. Harasimowicz, M.; Orluk, P.; Zakrzewska-Trznadel, G.; Chmielewski, A.G. Application of polyimide membranes for biogas purification and enrichment. J. Hazard. Mater, 2007. 144, 698–702 c.

2. Gómez, X.; Cuetos, M.J.; Cara, J.; Morán, A.; García, A.I. Anaerobic co-digestion of primary sludge and the fruit and vegetable fraction of the municipal solid wastes. Conditions for mixing and evaluation of the organic loading rate. Renew. Energy 2006. 31 c.

3. Batstone, D.J.; Keller, J.; Angelidaki, I.; Kalyuzhnyi, S.V.; Pavlostathis, S.G.; Rozzi, A.; Sanders, W.T.M.; Siegrist, H.; Vavilin, V.A. The IWA anaerobic digestion model no 1 (ADM1). Water Sci. Technol. 2002. 45, 65–73 c.

УДК 004.9

СИНТЕЗ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ГАЗОВОЇ СУМІШІ ХЛОРБЕНЗОЛУ

Симоненко Д. А., Ситніков О. В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, densim2001@gmail.com

За основу досліджень взято процес безперервного виробництва хлорбензолу. Значну роль в процесі виробництва хлорбензолу є етапи термообробки, т.я. при хлоруванні бензолу хлористий водень разом з парами бензолу, хлорбензолу, залишками вологи та газоподібними домішками, наявними у хлорі, відводять з самої вершини хлоратора, створюючи потребу їх, розділення та конденсації для подальшої відправки в ректифікаційні колони [1]. Температура регулюється автоматично за рахунок регулювання витрати охолоджувальної рідини через холодильну установку.

Метою роботи є синтез замкненої системи керування витрати холодної води для першоступеневого охолодження та подальшої конденсації та розділення суміші газів бензолу та хлорбензол [2].

Було розроблено передавальну функцію об'єкту керування для каналу керування «витрата охолоджувальної води – температура суміші газів».

$$W(s) = k / (Ts + 1)$$

Розв'язання задачі синтезу системи керування виконано за допомого методу Ціглера-Нікольса [3]. Проведено розрахунок параметрів налаштувань регулятора за відповідними співвідношеннями отриманими за допомогою метода Циглера-Нікольса. В регуляторі присутній коефіцієнт, що задає граничну частоту фільтру, вибирається з діапазону 2…20.

$$P + I\,(1/s) + D\,(N / (1 + N\,(1 / s)))$$

Відповідно P, I, D, N – пропорційна, інтегральна, диференційна частини, коефіцієнт фільтра та дорівнюють: $P = 0.000662$, $I = 5.21$, $D = 0.00146$, $N = 11.625$

В результаті проведеної роботи було синтезовано замкнену одноконтурну систему з ПІД-регулятором, що забезпечує мінімальне відхилення значення вихідної величини та швидкодію в роботі системі керування.

1. Лукінюк М. В. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами: у 2 кн. Кн. 2. Керування хіміко-технологічними процесами : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом: «Хімічна технологія та інженерія». Київ: НТУУ «КПІ», 2012. ISBN 978-966- 622-531-6 (Кн. 2).

2. Яворський В. Т., Перекупко Т. В., Знак З. О., Савчук Л. В. Загальна хімічна технологія: Підручник. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. 552 с.

3. Кубрак А. І., Жученко А. І., Кваско М. З. Комп'ютерне моделювання та ідентифікація автоматичних систем : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів, які навчаються за напрямом «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / НТУУ «КПІ». К.: Політехніка, 2004. 424 с. ISBN 966-622-175-6.

УДК 658.5.012.1

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСІВ ВИРОБНИЦТВА

Кравченко О. С., Філіппова М. В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, kraw4enko21@gmail.com

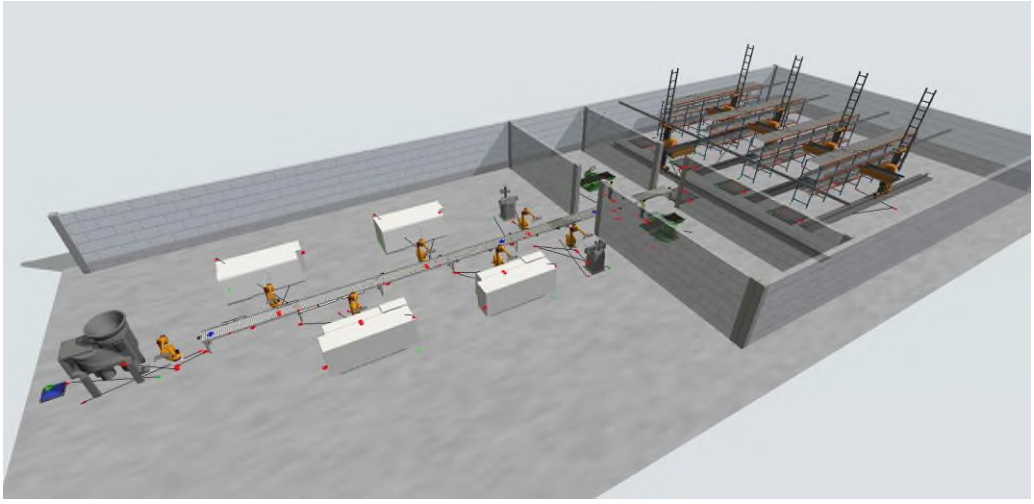
Ефективне використання ресурсів є ключем до успішної діяльності компанії. Якщо всі ресурси використовуються ефективно, то кількість виробленої продукції або наданих послуг збільшується, що призводить до збільшення прибутку компанії. Проблеми управління ресурсами можуть призвести до зайвих витрат, неправильного розподілу ресурсів та втрати прибутків. Аналіз та управління ресурсами є важливим елементом управління підприємством, що дозволяє зменшити витрати на обладнання та забезпечити максимальну продуктивність виробництва.

У своїх дослідженнях Кравченко М. А. [1], Гусарова О. С. [2] та Liang G. [3] використовують застарілі методи аналізу використання ресурсів виробництва, які вимагають багато часу на розрахунки і можуть призвести до появи помилок. Щоб вирішити цю проблему, було проведено експеримент з використанням технології цифрових двійників (Digital Twins) для здійснення подібного аналізу.

Оскільки цифровий двійник – це віртуальна модель запланованого виробничого процесу, яка точно відтворює всі його характеристики, фахівці можуть прогнозувати та помічати будь-які збої у процесі ще до того, як виріб надійде у виробництво. Завдяки цифровим двійникам можна збільшити інтенсивність тестування виробу та скоротити ресурси, задіяні у процесах проектування та виготовлення виробів. Загалом інженери можуть перебудовувати роботу системи, генеруючи несподівані сценарії, вивчаючи реакцію системи та створюючи стратегії пом’якшення наслідків.

За допомогою програмного пакету моделювання дискретних подій FlexSim (FlexSim Software Products, Inc.) для аналізу виробничого процесу виготовлення деталі типу фланець, було створено цифровий двійник цеху з виготовлення даних деталей, показаний на рисунку. Маршрут виготовлення деталей фланець включав дві основні операції – комплексну та шліфувальну. Для їх виконання обрано оброблювальний центр DMG MORI CTX beta 1250 TC та плоскошліфувальний верстат JET JPSG-1224TD (робочі станції). На складі розташовані 5 автоматизованих складських систем, які автоматизовано розставляються усі готові деталі та стелажах. Завдяки вбудованим інструментам програмного пакету FlexSim були отримані дані про роботу всіх елементів моделі, таких як верстати, оператори, засоби переміщення тощо.

Отримані дані показали що: оброблювальні центри знаходяться в процесі обробки близько 98% всього часу, коли на решту, а саме 2 %, припадає стан очікування на завантаження деталі; шліфувальні верстати та перевірочні станції близько 56 % всього часу вони перебувають у стані роботи, решта припадає на простої; автоматизовані складські системи працюють близько 2,5 % всього часу.



Модель цеху з виготовлення деталі типу фланець в FlexSim:
I – склад заготовок, II – виробнича ділянка, III – ділянка контролю, IV – склад деталей,
1 – бункер орієнтуючої подачі, 2 – оброблювальний центр, 3 – промисловий робот, 4 – шліфувальний станок, 5 – контрольний стіл, 6 – візок, 7 – конвеєр

З даних, які були отримані, можна зробити висновок, що всі робочі станції працюють ефективно, але цього не можна сказати щодо роботів-маніпуляторів, операторів та автоматизованих складських систем. Щоб вирішити цю проблему, необхідно зменшити кількість маніпуляторів з семи до трьох, операторів з двох до одного та складських механізмів з п'яти до одного. Це можливо зробити, змінивши план цеху. Зменшення кількості елементів на виробництві приведе до зменшення витрат, що позитивно відобразиться на конкурентоспроможності компанії.

Моделювання параметрів роботи верстатів та обладнання, при виготовлені деталей типу фланець, підтвердило доцільність використання технології цифрових двійників для дослідження та аналізу використання ресурсів. Виробниче моделювання з використанням цифрового двійника дозволяє створити точну віртуальну копію виробництва, виявити недоліки та знайти шляхи їх вирішення. Отримані дані про роботу елементів дозволяють прогнозувати їх працездатність та ефективність роботи.

1. Кравченко М. А. Аналіз ефективності використання трудових ресурсів на підприємстві. *Ефективна економіка*, № 10, 2010. 2 с.

2. Гусарова О. С. Аналіз ефективності використання трудових ресурсів на підприємстві. Харківський національний економічний університет, 2013.

3. Liang G., Long L., Chen2 L. Optimization of Enterprise Labor Resource Allocation Based on Quality Optimization Model. Publishing Open Access research journals & papers, 2021. pp. 2-6.

4. Вислоух С. П., Волошко О. В., Тимчик Г. С. та Філіппова М. В. Комп'ютерне моделювання процесів і систем. Методи оптимізації. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023.

УДК 697.97-5

КОНТУРИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

Сідєльніков Є. О., Бунь В. П.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, sidelnikovevg@gmail.com

Економія енергії стає все важливішою в нашому повсякденному житті та на промислових підприємствах. Сучасні методи будівництва житлових та громадських будівель потребують покращення мікроклімату. У зв'язку з цим, були внесені значні зміни до конструкцій систем вентиляції, кондиціонування та опалення. Отже, системи вентиляції з рециркуляцією потребують постійного контролю та регулювання, щоб забезпечити оптимальні умови та ефективне використання енергії.

Система вентиляції з рециркуляцією – це система, що забезпечує подачу свіжого повітря в приміщення, одночасно використовуючи повітря з приміщення для зменшення витрат енергії на опалення або охолодження [1].

Одним із ключових елементів системи вентиляції з рециркуляцією є контур регулювання. Його основна задача полягає у забезпеченні стабільної роботи системи та утриманні необхідних параметрів, таких як температура, вологість, обсяг повітря на оптимальному рівні. Вибір контуру регулювання для системи вентиляції залежить від ряду факторів, таких як тип і розмір системи, характеристики приміщення.

Простий контур с регулювання по температурі може бути достатнім для невеликих систем вентиляції з рециркуляцією, особливо якщо вони використовуються для забезпечення комфортних умов у житлових приміщеннях. Для більш складних систем вентиляції з рециркуляцією, які використовуються в комерційних або промислових приміщеннях, можна розглянути більш складні контури регулювання, такі як:

1. Контур регулювання по вологості;
2. Контур регулювання по *CO2*;
3. Контур регулювання по швидкості повітря.

Розглядається варіант з регулюванням температури. Регулювання температури здійснюється по кімнатному датчику (*TE6*) та канальному (*TE5*). Таким чином реалізовується каскадна система регулювання. Регулюючий пристрій (РП) отримує інформацію від двох датчиків та генерує сигнал для управління байпасом рекуператора та 3-х ходовим клапаном водяного калорифера. В результаті цього така система забезпечує швидке та точне регулювання і уникає можливість відхилення від встановлених норм. Схема регулювання показана нижче.

Незважаючи на свою ефективність, система вентиляції з рециркуляцією може стикатися з рядом проблем, таких як погіршення якості повітря, збільшення ризику захворювань та енергозатрат на її експлуатацію.

Для досягнення цієї мети необхідно розробити методи та алгоритми регулювання, що дозволяють визначати оптимальні значення параметрів системи, забезпечувати стабільну роботу та зменшити витрати енергії, тому проводяться

дослідження та аналіз існуючих методів та технологій регулювання систем вентиляції з рециркуляцією.

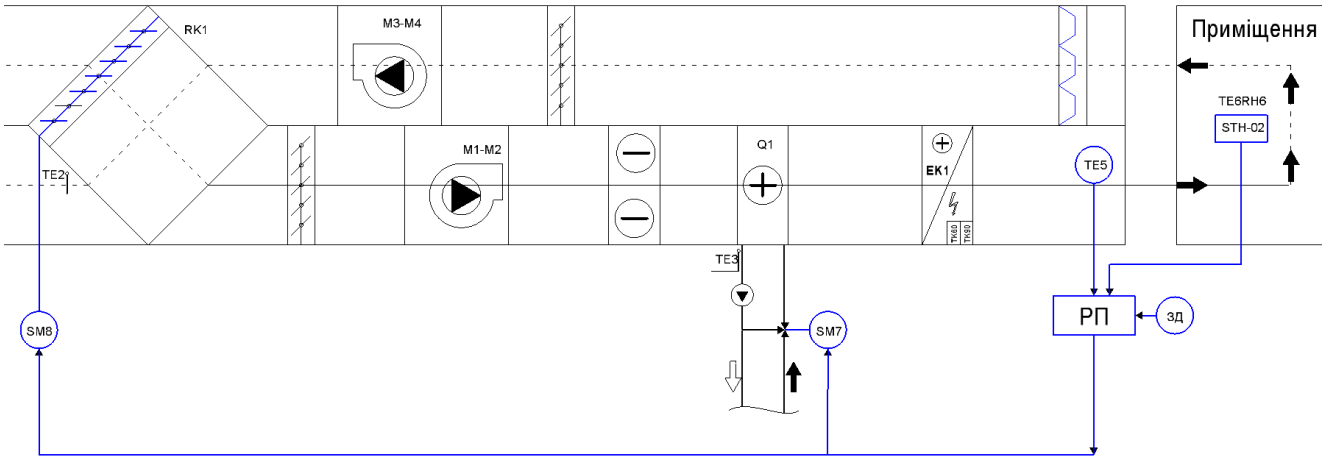


Схема регулювання температури повітря по кімнатному та канальному датчику

Використовуються різні методи та алгоритми регулювання, такі як:

1. *PID*-регулятор;
2. Адаптивний регулятор;
3. Регулятор моделі.

Дослідження показали, що найефективнішим методом регулювання є регулювання на основі моделі системи вентиляції з рециркуляцією. Цей метод полягає у створенні математичної роботи системи та використанні її для регулювання роботи системи вентиляції з рециркуляцією. За допомогою цього методу можна забезпечити точність та стабільність роботи системи при різних умовах експлуатації [2].

Отже, контури регулювання в системі вентиляції з рециркуляцією є важливими елементами для забезпечення ефективності та стабільності роботи системи. Розробка оптимальних методів та алгоритмів регулювання є актуальною та перспективною задачею для багатьох галузей промисловості та енергетики. Використання регулятора на основі моделі системи вентиляції з рециркуляцією є найбільш ефективним методом регулювання.

1. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers ASHRAE Handbook – HVAS Systems and Equipment. P. 14.

2. David W. Bearg Air Quality and HVAC Systems. P. 83.

УДК 681.5: 004.45

МОЖЛИВОСТІ СИСТЕМИ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ *MYSCADA* У РОЗРОБЛЕННІ МНЕМОНІЧНИХ СХЕМ ОБ'ЄКТІВ КЕРУВАННЯ. ПОВІДОМЛЕННЯ 3

Гавриш К. В., Юденко В. В., Гульчук А. А., Складанний Д. М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, gkvedumail@gmail.com

Особливістю *mySCADA* є можливість організації на мнемонічній схемі сигналізацію про важливі події через сигнали тривоги. Сигнали створюються автоматично за допомогою бази даних тегів, шляхом встановлення для обмеженого тегу прапорець *ALARM*. Інший спосіб визначення сигналу – використання вкладки *CAS Alarms* і визначення сигналів вручну, активувавши опцію *CAS Alarms* у вікні проєкту (рис. 1).

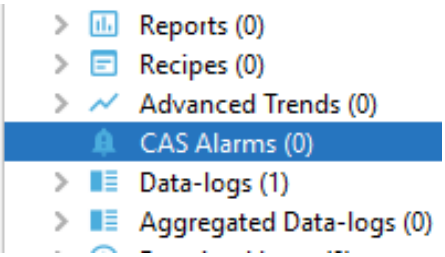


Рис. 1. Розділ *CAS Alarms* у вікні проєкту середовища *myDesigner*.

Традиційним для *HMI/SCADA* систем є використання у середовищі *myDesigner* представлення історії даних у вигляді тренду. Для цього спочатку у розділі *Data Logging*, налаштовується журнал даних, історія яких підлягає зберіганню. Наступним етапом є створення трендів у розділі *Advanced Trends*. Для цього у діалоговому вікні вказується назва тренду, опис, час оновлення і вигляд. Новий тренд – *Basic Advanced trend* буде занесено до теки трендів проєкту. В результаті отримуємо побудований тренд (рис. 2) [1].

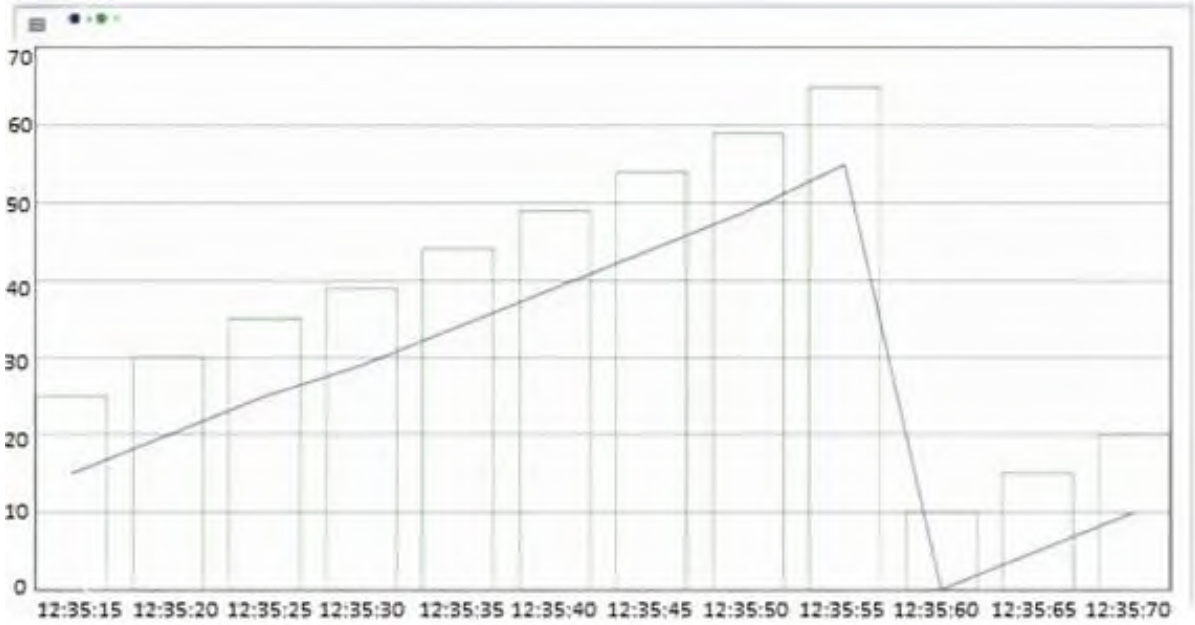


Рис. 2. Приклад тренду у середовищі *myDesigner*

Для відображення тренду використовують функцію *Add Pen (перо)* в нижній частині вікна.

Поточна інформація про значення контрольованих параметрів виводиться на мнемосхему шляхом побудови показуючого стрілкового і цифрового приладу. Зображення приладів розміщено у вкладці *Analog Meter* панелі інструментів для аналогових (стрілочних) приладів та на вкладці *Numeric Display* для цифрових приладів. Приклади таких приладів наведено на рисунку 3. Для підключення зображення приладу до джерела сигналу, використовують монітор обравши *Numeric Display* у вкладці *Data Link* вікна налаштувань приладу. У результаті, прилади будуть налаштовані на показ поточних значень та будуть працювати на екрані.

Рис. 3. Приклади візуальних зображень приладів у середовищі *myDesigner*

Виведення інформації контрольованих параметрів на показувальний стрілковий (аналоговий) і цифровий прилади дозволяє забезпечувати повне уявлення про хід технологічного процесу, тобто стан і умови роботи об’єкта. Це важливий аспект роботи будь-яких виробництв в наш час.

Узагальнюючи, *myScada* має всі необхідні можливості для розробки мнемонічних схем об’єктів керування, що дозволяє операторам систем диспетчеризації відслідковувати стан системи в режимі реального часу та приймати вчасні рішення для забезпечення ефективного керування.

1. MyDesighner SoftWare Tool URL : https://www.myscada.org/mydesigner/ (дата звернення 01.04.2023)

2. Jane H. Jones. The Cativa™ Process for the Manufacture of Acetic Acid: Iridium catalyst improves productivity in an established industrial process. *Platinum Metals Review*., 2000, 44 (3). Pp. 94–105.

УДК 004.9

АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ НАЛАШТУВАННЯ ПІ-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ СУМІШІ НЕПРОРЕАГОВАНОГО ЕТИЛЕНУ З РІДИНОЮ

Фтемов А. О., Ситніков О. В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, artem.ftemov23@gmail.com

В роботі розглядається виробництво етилового спирту прямою гідратацією етилену. У ньому значну роль відіграє холодильник-конденсатор [1], за допомогою якого відбувається термообробка, яка є необхідною для конденсації очищених продуктів синтезу, що надходять із теплообмінника-рекуператора. Після проходження холодильника продуктами на виході подається вже непрореагований етилен із рідиною [2], температуру якого слід регулювати.

Мета роботи полягає в синтезі одноконтурної замкненої системи керування подачі холодного повітря для конденсації продуктів синтезу і перетворення їх у суміш непрореагованого етилену з рідиною, а також забезпечення достатньої стійкості системи, що дасть змогу безпечно і швидко керувати процесом.

Для початку було розраховано передавальну функцію об’єкта для каналу «витрата холодного повітря – температура суміші непрореагованого етилену з рідиною»:

$$W(p) = (k(\alpha Tp + 1)) / (Tp + 1).$$

Для розв’язання задачі вибрано ПІ-регулятор [3], систему з яким було реалізовано в середовищі *MATLAB Simulink*. Систему керування зображено на рис. 1.

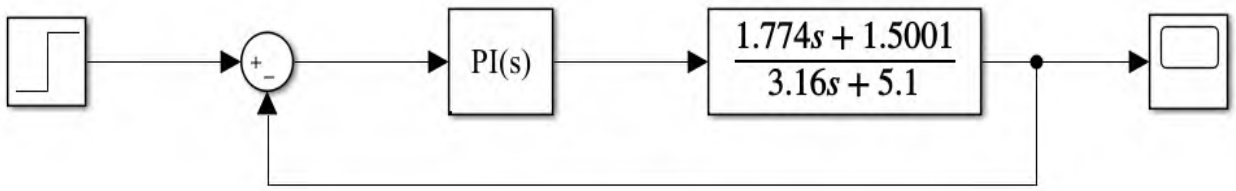


Рис. 1. Замкнена одноконтурна система керування з ПІ-регулятором

Як збурення розглянуто витрату речовини, що підлягає охолодженню.

Після розробки замкненої одноконтурної системи з ПІ-регулятором для каналу керування «витрата холодного повітря – температура суміші непрореагованого етилену з рідиною» проведено розрахунок параметрів регулятора та побудовано перехідний процес, зображений на рис. 2.

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{1}{T_i}\int_0^t e(t)dt,$$

де K_p, T_i – пропорційний коефіцієнт та стала інтегрування відповідно. Вони дорівнюють: K_p = 4,05; T_i = 5,21.

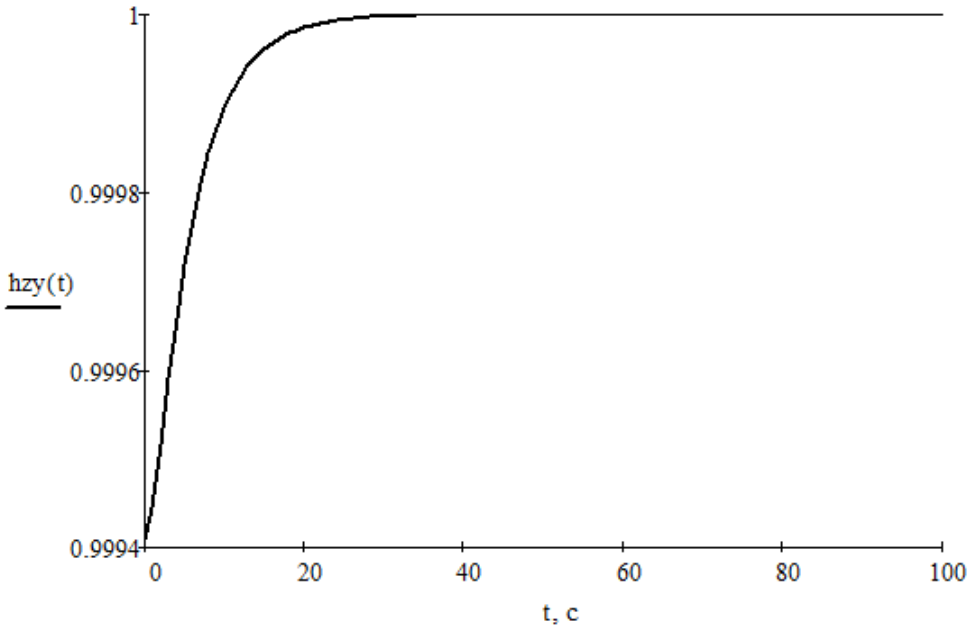


Рис. 2. Перехідний процес замкненої одноконтурної системи керування з ПІ-регулятором

В результаті проведеної роботи було синтезовано одноконтурну замкнену систему з ПІ-регулятором, яка забезпечує стабільну роботу системи з мінімальним відхиленням від заданого значення.

1. Яворський В. Т., Перекупко Т. В., Знак З. О., Савчук Л. В. Загальна хімічна технологія: Підручник. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. 552 с.

2. Лукінюк М. В. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами: у 2 кн. Кн. 2. Керування хіміко-технологічними процесами : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом: «Хімічна технологія та інженерія». Київ: НТУУ «КПІ», 2012. ISBN 978-966- 622-531-6 (Кн. 2).

3. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування: Підручник. 2-ге вид., перероб і доп. К. : Либідь, 2007. 656 с. ISBN 978-966-06-0447-6.

УДК 537.226

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОВІДНОСТІ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН

Осінов С. Н., Єрьоменко І. В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, s.osinov-me@lll.kpi.ua

Вивчення електричної провідності біологічних тканин будуєтся на основі фізичних моделей. Актуальним питанням є створення фізичних моделей штучних органів на основі твердотілих моделюючих структур (ТМС). Вирішення завдань, які у зв'язку з цим виникають, пов'язані з математичними моделюванням диференційних рівнянь другого порядку, класичним розв'язанням яких є метод скінчених різниць Дослідження процесів у мембранах є важливим етапом для визначення принципів саморегуляції живих тканин у складі біотехнічних систем і моделюють процеси з використанням телеграфного рівняння. Одним з принципів який діє в живій клитині є принцип мінімуму. Принцип минімуму визначає наступне: якщо змінювати параметри окремих ферментативних процесів (ФП), то зміна швидких ланцюгів не відзеркалиться на швидкості всього процесу, зміна параметрів буде чутливою лише для найбільш повільної стадії ФП. Другим важливим принципом у визначенні динамічної поведінки мембрани є незалежність ФП [1]. Отримання синергетичного ефекту використання принципів доцільно поєднати разом з нечіткою логікою керування процесом деполяризації мембранного потенціалу. Міра подразнення для виникнення деполяризації є важливою. Електробіологічна аналогія визначає застосування еквівалентної схеми на основі паралельних провідностей, які моделюють канали ФП [2]. Але немає протиріччя, якщо скористатися структурним принципом для визначення елементарних ФП, а інтегральним результатом буде суперпозиція сигналів. Це надає переваги для реалізації керування, а використання 3*D* інтегральних структур збільшує інтеграцію. ТМС складаєтся з провідностей на перемикальних конденсаторах [3]. Провідність є частотозалежною, що дозволяє керувати вагою як окремою структурою ФП, так і масштабним коефіцієнтом еквівалентної схеми.

На першому етапі синтезу ТМС важливо визначитись щодо коректності у точністі результатів обчислень штучно створеної моделі. Для зменшення обсягу обчислень оцінку точності розглянуто на прикладі розв'язку рівняння Лапласа з розподілу потенціалів у просторі. План розбиття кінцево-різницевого оператора А та його електричний аналог ($R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$) – Б наведено на рис. 1.

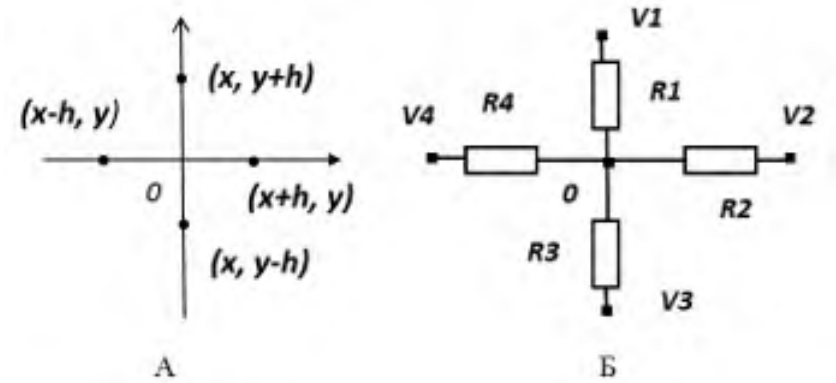


Рис. 1. П'ятиточковий план оператора. Область інтегрування – 91 вузол

Граничні умови реалізуються за рівності нулю похідної від потенціалу в напрямку нормалі до границі вздовж осей *X* та *Y* (умова Неймана) вузловим точкам, що збігаються з відомими значеннями, потенціали набувають відповідні значення (умова Діріхле). Сукупність рівняннь для внутрішніх та зовнішніх вузлів плану області інтегрування на резистивній сітці є подібною до системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАУ) за класичним методом. Розв'язання класичної СЛАУ та рівнянь резистивної сітки виконано у програмному середовищі *LTSpice* – результат наведено на рис. 2.

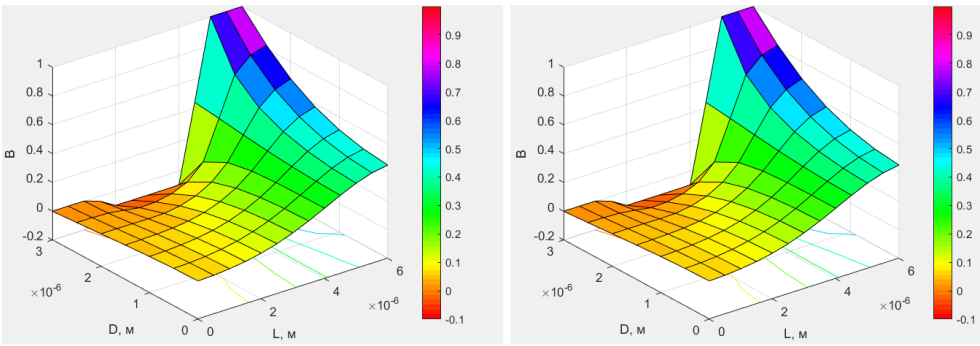


Рис. 2. Площини розподілу потенціалів побудовані за розв'язками СЛАУ (А) та за значеннями з резистивної сітки (Б)

Числові результати проаналізовано та встановлено похибки розрахунку. На рис. 3 наведено розподілення абсолютних та відносних похибок за результатами розв'язання.

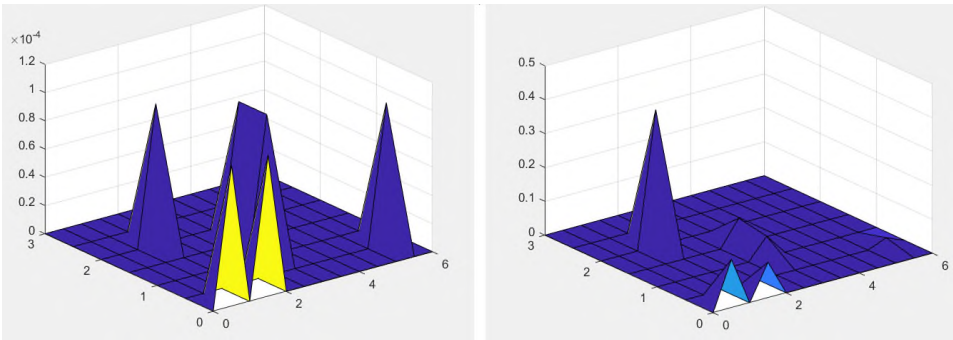


Рис. 3. Графіки абсолютної (А) та відносної (Б) похибок з прив'язкою до плану розбиття області інтегрування

Отримані графіки вказують на невпорядкованість розташування похибок на площині інтегрування, і вони не належать особливим вузлам області інтегрування, що може бути пов'язано з методом округлення значень у програмі *LTSpice*. Уникнути подібної невпорядкованості вдається шляхом зменшення кроку розбиття області інтегрування. За результатом дослідження встановлено діапазон розкиду відносної похибки, який складає від 0,02 % до 0,4 %.

1. J. Lachance, S. Rodrigie, B. O'Palsson. Minimal cells, maximum knowledge/eLife, 2019; 8: e45379. DOI: https://doi.org/10.7554/eLife.45379.

2. Волков С. І., Бульба Є. М., Смердова Т. А. Аналіз збудження біологічної структури електричними імпульсами. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, №2, 2012. С.190–194.

3. T. C. Carusone, D. A. Johns and K. W. Martin. Analog Integrated Circuit Design. 2-nd ed. USA: John Wiley & Sons; 2012.

УДК 681.515

СИНТЕЗ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СТРІЧКОВИМ КОНВЕЄРОМ

Процевська М. Г., Коротинський А. П.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, marina.protsevska@gmail.com

Стрічковий конвеєр – це механізм безперервної дії, який переміщує вантажі від однієї точки до іншої. Конвеєр, в залежності від конструкції, може бути використаний для транспортування різних типів вантажів: сипучих, напіврідких, легких та важких предметів. Стрічкові конвеєри використовуються у будь-якому сучасному підприємстві. Вони дозволяють зменшити час транспортування вантажів та полегшують рух великих вантажів, що забезпечує безпечні умови роботи, знижує витрати на працю та збільшує продуктивність виробництва. Тому розробка системи керування стрічковим конвеєром є надзвичайно актуальною практичною задачею.

У роботі продемонстровано результати роботи розроблених трьох систем керування та проведено порівняльний аналіз ефективності роботи отриманих систем.

Першою була розроблена одноконтурна система керування на базі PID регулятор в середовищі MatLab, інструментом PIT Tune. У якості альтернативи була розроблена система керування на базі селективного регулятора, що наведена на рис. 1. Головна ідея ґрунтується на тому, що розробляється два PID регулятора з різними налаштуваннями, які будуть відпрацьовувати завдання в різні часові проміжки процесу, а точніше, тоді, коли один із регуляторів є більш ефективним.

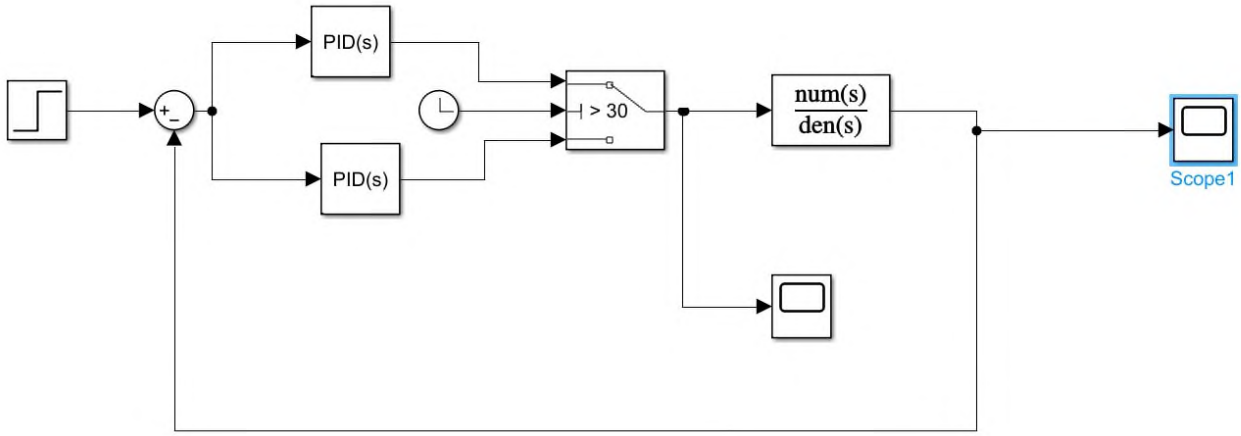


Рис. 1. Схема селективної системи керування в середовищі MatLab

Третьою було розроблено систему керування з оптимізацією налаштувань PID регулятора. Ця оптимізація здійснюється за допомогою блоку SignalConstreint, середовища MatLab. На рис. 2 зображено граничні обмеження при оптимізації та проміжні результати процесу оптимізації.

Результати роботи запропонованих замкнутих систем керування на базі PID регуляторів наведено на рис. 3.

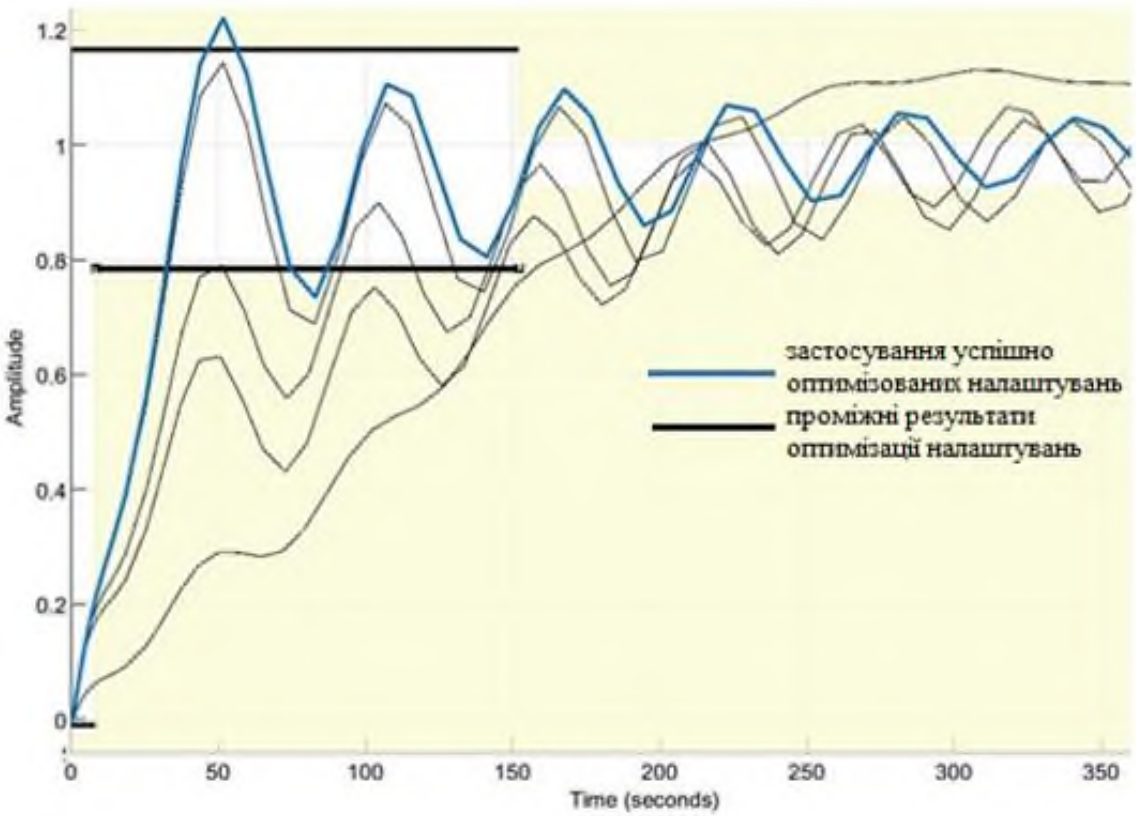


Рис. 2. Граничні обмеження при оптимізації та результати оптимізації

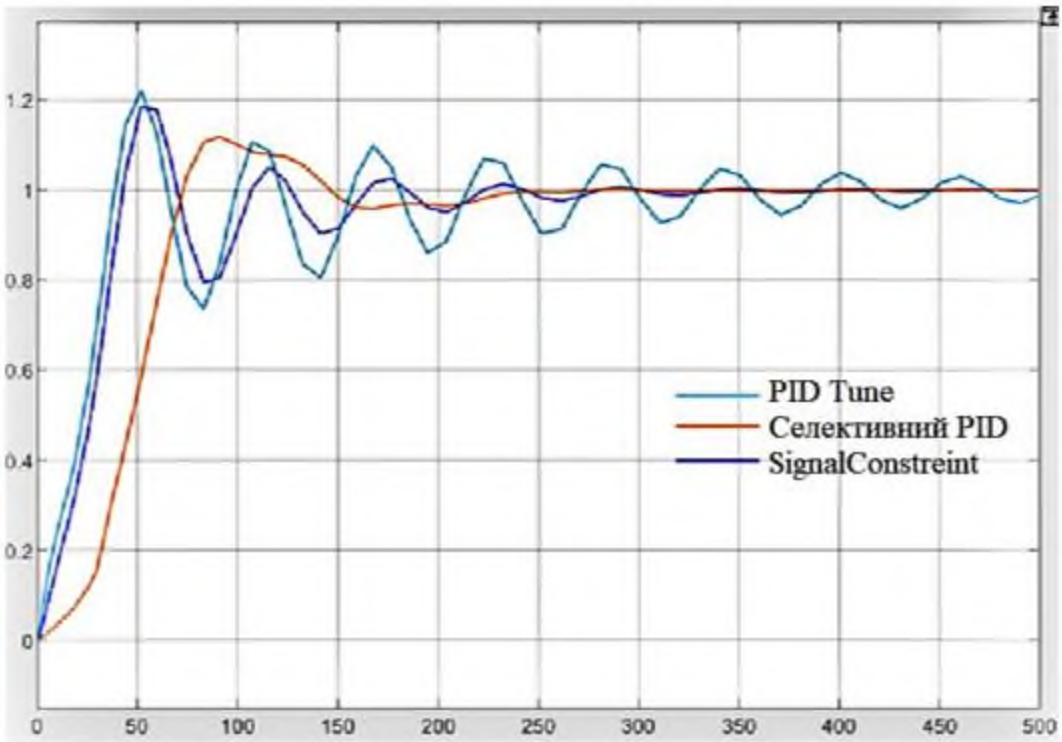


Рис. 3. Порівняння графіків трьох перехідних характеристик

Аналізуючи графік з перехідними характеристиками, можна побачити, що система, з селективним регулятором, найбільш ефективна, тому що має менше перерегулювання та швидше виходить на уставлений рівень в порівнянні з іншими системами.

УДК 665.764.6

ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ АБСОРБЕРОМ У ПРОЦЕСІ ДОБУВАННЯ КОКОСОВОГО ГАЗУ

Даниленко А. С., Ладієва Л. Р.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, andriydanylenko1337@gmail.com

Однією з ключових задач у процесі добування коксового газу є ефективне функціонування абсорберу, який відповідає за очищення газу від сірководню та інших забруднюючих речовин. В насадковій колоні встановлюють тарілку, призначену для перерозподілення рідини по висоті колонного апарату, при наявності декількох шарів насадки.

Для підтримки оптимального динамічного режиму абсорбера в якості критерію оптимальності вибрано інтегральний квадратичний критерій*:

$$I = \frac{1}{2}\int \left[q(X_{\text{кін}} - X_{\text{кін}}^{\text{зд}})^2 + rL^2\right] dt \to min,$$

де $X_{\text{кін}}$ – витрата бензолу; L – витрата поглинаючого масла.

Математична модель абсорбера в результаті лінеаризації представлена у вигляді:

$$\begin{cases} \dfrac{dYk}{dt} = a_{11}Yk + a_{12}Xk \\ \dfrac{dXk}{dt} = a_{21}Yk + a_{22}Xk + bL \end{cases},$$

де

$$a_{11} = \frac{-G - 1/2K\text{г}F\text{г}}{V\text{г}/2}, a_{12} = \frac{-1/2K\text{г}F\text{г}Ho}{V\text{г}/2},$$

$$a_{21} = \frac{1/2KpFpHo}{Vp/2}, a_{22} = \frac{-L + 1/2KpFpHo}{Vp/2},$$

$$b = \frac{Xk - X\text{н}}{Vp/2}.$$

Для оптимального керування застосовано принцип максимуму. Гамільтоніан має вигляд:

$$H = \frac{1}{2}q\left(X_{\text{кін}} - X_{\text{кін}}^{\text{зд}}\right)^2 + \frac{1}{2}rL^2 + \lambda_1(a_{11}Yk + a_{12}Xk) + \lambda_2(a_{21}Yk + a_{22}Xk + bL).$$

---

*Жученко А. І., Ладієва Л. Р., Дубік Р. М. Динамічна оптимізація з використанням MATLAB та SIMULINK. К.: НТУУ “КПІ”, 2010. 209 с.

Необхідні умови оптимальності:

$$\lambda_1' = -\frac{\partial H}{\partial Yk} = -\lambda_1 a_{11} - \lambda_2 a_{21};$$

$$\lambda_2' = -\frac{\partial H}{\partial Xk} = -q\left(X_{\text{кін}} - X_{\text{кін}}^{\text{зд}}\right) - \lambda_1 a_{12} - \lambda_2 a_{22};$$

$$\frac{\partial H}{\partial L} = rL + b\lambda_1 = 0;$$

$$\lambda_1(t_f) = 0;$$

$$\lambda_2(t_f) = 0.$$

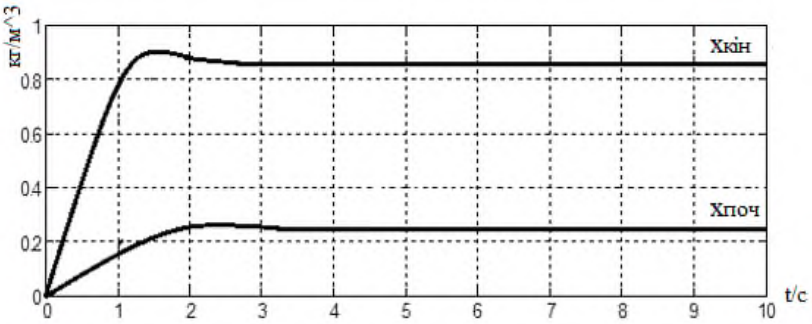
Алгоритм розрахунку оптимального програмного керування:

1. При заданому постійному значенні керування *U* розраховуємо у прямому часі математичну модель процесу, отримуємо траєкторії переходу;

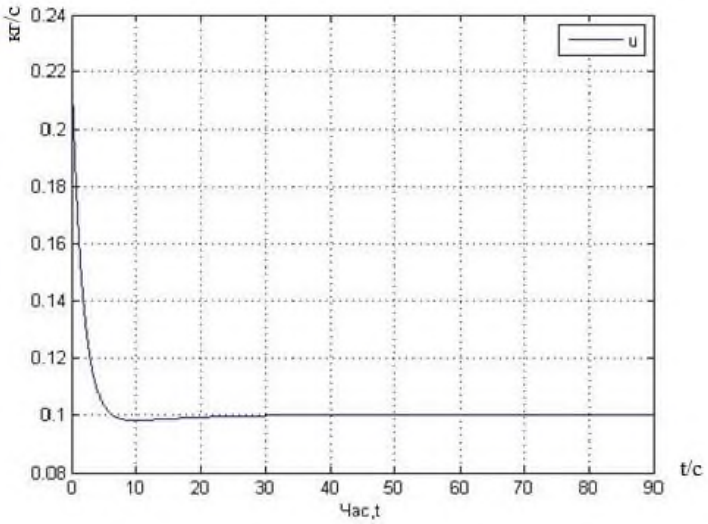
2. У зворотному часі розраховуємо спряжену систему;

3. Отримуємо оптимальне керування *U(t)*. Підставляємо у математичну модель, яку розраховуємо у прямому часі. Отримуємо оптимальну траєкторію переходу.

В результаті розрахунків була отримана оптимальна траєкторія переходу.



Графік перехідних процесів абсорбера



Графік оптимального керування

Розрахунок оптимального програмного керування виконано з використанням пакету Matlab.

УДК 004.942

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ АЗОТНОЇ КИСЛОТИ В ASPEN HYSYS

Абрамова А. О., Бондаренко С. Г., Касьян О. А.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, alla_abramova@ukr.net

Бурхливе зростання виробництва азотної кислоти зберігає актуальність інженерного пошуку оптимальних рішень у разі створення нових технологічних ліній. Головними стадіями виробництва неконцентрованої азотної кислоти є очищення сировини, каталітичне окислювання аміаку, утилізація тепла, виведення з нітрозного газу реакційної води, доокиснення окису азоту у вищі окисли, абсорбція їх водою або розведеною азотною кислотою, очищення газових викидів. Одержання азотної кислоти методом прямого синтезу засновано на взаємодії рідких оксидів азоту з водою й киснем під тиском і при підвищеній температурі. Процес виробництва кислоти складається з наступних стадій: одержання аміачно-повітряної суміші, окислювання аміаку, охолодження нітрозних газів і окислювання NO до NO_2, абсорбція оксидів азоту.

Хіміко-технологічні розрахунки є трудомісткою частиною будь-якого хімічного виробництва. Матеріальні розрахунки є основними у технологічних розрахунках. До них слід віднести розрахунок виходу основного та побічних продуктів, витратних коефіцієнтів по сировині, виробничих витрат. Тільки після розрахунку матеріальних потоків є можливість проведення конструктивних розрахунків виробничого обладнання і комунікацій, оцінювання економічної ефективності і доцільності проєкту [1]. Математична модель хіміко-технологічної системи виробництва сірчаної кислоти містить сукупність близько $5 \cdot 10^2$ інформаційних зв'язків, з яких більше половини мають нелінійний характер. Для сучасної комп'ютерної техніки це не є перешкодою, спеціальне програмне забезпечення (ASPEN HYSYS, CHEMCAD) дає можливість такого розрахунку [2].

Для моделювання процесу отримання азотної кислоти в ASPEN HYSYS запропоновано принципову схему одержання розведеної азотної кислоти (рис.1).

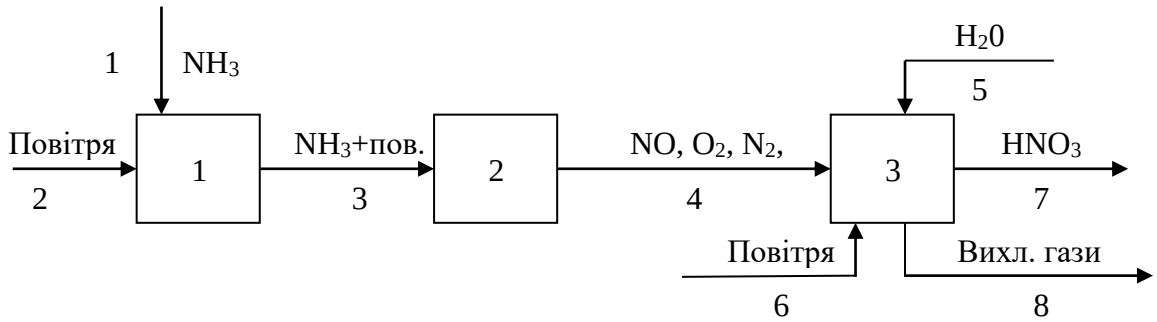


Рис. 1. Принципова схема отримання азотної кислоти:
1 – блок підготовки сировини; 2 – блок окислення аміаку; 3 – блок абсорбції нітрозних газів

Для побудови схеми процесу отримання азотної кислоти у програмному середовищі ASPEN HYSYS (рис. 2) задаємо термодинамічну базу: модель SRK

(містить усі необхідні компоненти), набір реакцій для реакторів, склад матеріальних і теплових потоків, параметри теплообмінників та апаратів.

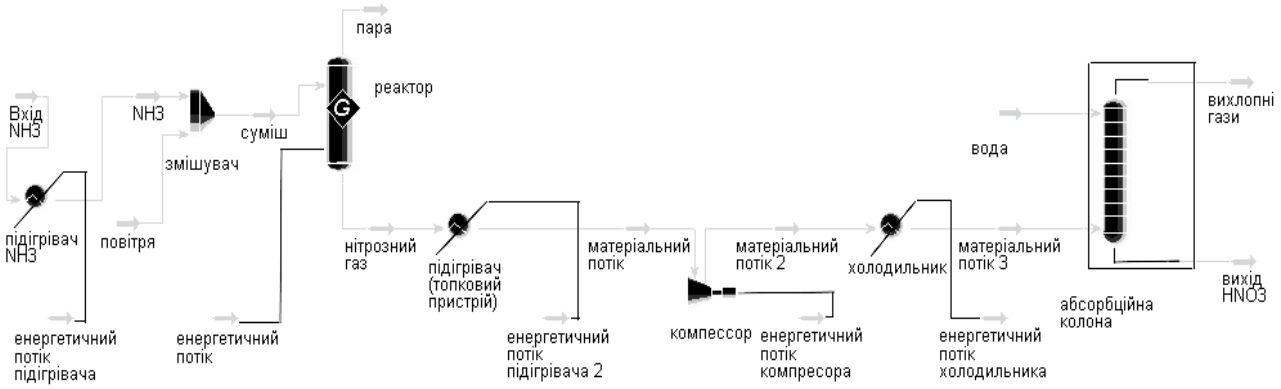


Рис. 2. Змодельована схема процесу отримання азотної кислоти в ASPEN HYSYS

На основі представленої схеми процесу отримання азотної кислоти складено загальний матеріальний баланс речовин (табл. 1).

Таблиця 1. Загальний матеріальний баланс речовин

Введено			Отримано		
Стаття приходу	Маса, кг	%	Стаття витрати	Маса, кг	%
Аміак	706,1	4,8	58% - на азотна кислота:	4310,3	29,31
Повітря:	12771,1	86,85	Азотна кислота	2500	17
Кисень	2975,8	20,24	Вода	1810,3	12,31
Азот	9795,3	66,61	Вихлопні гази:	10394,2	70,69
Вода	1227,4	8,35	Оксид азоту	18,1	0,12
			Азот	9812,7	66,73
			Кисень	382	2,6
			Вода	181,3	1,23
Всього	14704,5	100	Всього	14704,5	100

За отриманими значеннями матеріального балансу схеми виробництва азотної кислоти було зроблено висновок, що кількість речовини на вході дорівнює кількості речовини на виході, тобто розрахунки правильні.

1. Білецький В. С. Моделювання у нафтогазовій інженерії : навч. посібник. Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». Львів : Новий Світ – 2000, 2021. 306 с.

2. Бугаєва Л. Н., Безносик Ю. О., Статюха Г. О. Рішення хіміко-технологічних задач із використанням програми ASPEN PLUS. Киї: Політехніка, 2007. 72 с.

УДК 66.011

МОДЕЛЮВАННЯ АБСОРБЦІЇ У ВИРОБНИЦТВІ ФОРМАЛЬДЕГІДУ

Поліщук О. І., Ярощук Л. Д.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, xanderpole42@gmail.com

Формальдегід виготовляють у великих масштабах для використання в областях органічного синтезу та медицини, при виробництві меблів, тканин та різноманітних будівельних матеріалів.

Одним із основних апаратів хіміко-технологічної системи виробництва формальдегіду є абсорбер. У результаті окислювального дегідрування пароповітряної суміші з метанолом на виході реактора концентрація формальдегіду у газовій суміші складає 80–85 %. Після цього продукти реакції швидко охолоджують та направляють у абсорбер, який зсередини зрошують водою. Кінцевим продуктом є 37 %-ий водний розчин формальдегіду (формалін).

Актуальність дослідження полягає у необхідності створення системи керування концентрації формальдегіду у технічному формаліні, яка характеризує якість продукції.

Метою дослідження є визначення каналу керування на основі технологічних особливостей абсорбера та створення математичної моделі процесу.

Схема насадкового абсорбера представлена на рис 1. Такий абсорбер належить до поверхневих абсорберів з огляду на характер поверхні контакту газу з рідиною.

Рис. 1. Розрахункова схема насадкового абсорбера

У верхню частину апарату подають воду, що стікає тонкою плівкою вниз по поверхні насадки, встановленої на ґратах. Знизу надходить газова суміш, яка містить формальдегід, проходить крізь ґрати та рухається протитечією відносно рідини. В результаті контакту води та газу відбувається масопередача, під час якої формальдегід переходить із газової фази в рідку. Задача керування цим процесом полягає у стабілізації концентрації формальдегіду в насиченому абсорбенті – формаліні, який накопичується у нижній частині апарату.

Найбільш доцільно керувати об’єктом за каналом «витрата абсорбенту – концентрація формальдегіду в насиченому абсорбенті», оскільки вплив на витрату газового потоку може призвести до додаткових збурень.

Для створення моделі об’єкту керування визначимо вхідні змінні: витрата газової суміші $G_г$, концентрація формальдегіду в газовій суміші $c_г^{вх}$, витрата $G_а$ абсорбенту та концентрація формальдегіду $c_а$ в абсорбенті. Вихідні змінні: рівень насиченого абсорбенту $h_{на}$, що накопичується в нижній частині апарату, витрата $G_а$ насиченого абсорбенту та концентрація формальдегіду $c_{на}$ у водному розчині, витрата $G_г$ та концентрація формальдегіду $c_г^{вих}$ у непоглинутих газах.

Рівняння матеріального балансу в статичному режимі за цільовим компонентом у насиченому абсорбенті має вигляд:

$$G_а c_а + G_г c_г^{вх} = G_а c_{на} + G_г c_г^{вих}$$

Рівняння динаміки наведемо у вигляді:

$$G_а c_а + G_г c_г^{вх} - G_а c_{на} - G_г c_г^{вих} = \rho_{на} S_{ап} h_{на} dc_{на}/dt,$$

де $\rho_{на}$ – густина насиченого абсорбенту; $S_{ап}$ – площа перерізу абсорбційної колони.

Графік залежності концентрації формальдегіду (відносно одиниці) у водному розчині на виході з абсорбера від витрати води на вході в абсорбер представлений на рис. 2.

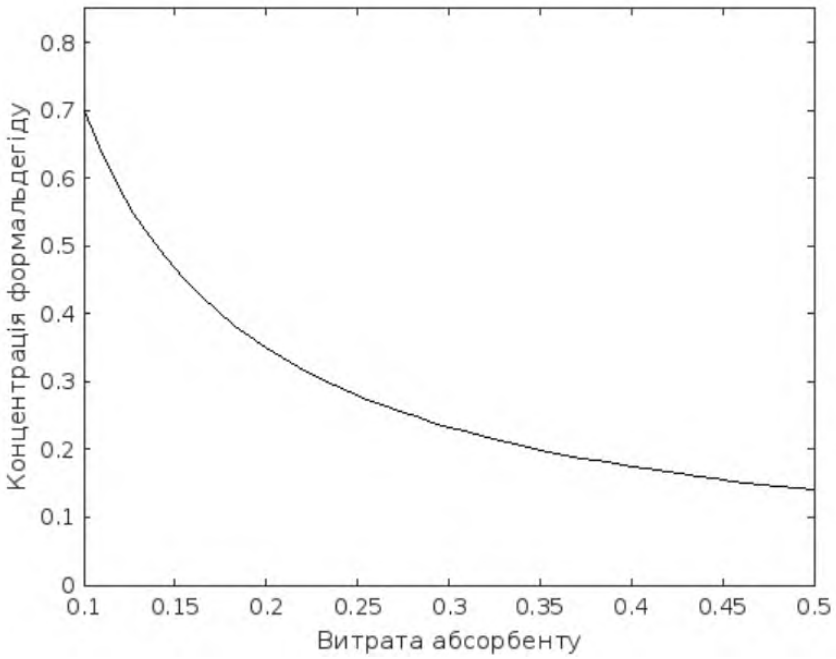


Рис. 2. Графік залежності концентрації формальдегіду у водному розчині від витрати води

З графіка видно, що залежність має нелінійний характер – це треба враховувати в алгоритмі керування якістю продукції. За допомогою математичної моделі можна провести оптимізацію процесу, що сприятиме підвищенню ефективності виробництва.

УДК 665.642

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРУБЧАСТОЇ ПЕЧІ У ПРОЦЕСІ ЛУЖНОГО ОЧИЩЕННЯ ДИЗПАЛИВА

Б. М. Біганський, В. В. Миленький
КПІ ім. Ігоря Сікорського, milenkyvv@ukr.net

Апарат трубчаста піч призначений для передачі тепла від горілки до продукту, що рухається по змійовику. Такого виду печі часто використовуються в нафто-газопереробній, нафтохімічній, коксохімічній і в других галузях. Також цей апарат виступає як складова установок і використовується в різних процесах.

Трубчасті печі бувають різними за конструкцією. Вони відрізняються числом камер, способом теплопередачі, формою та кількістю камер топки, розташуванням горілки, кількістю потоків продукту, варіантами спалювання палива, довжиною труб тощо.

Отже, згідно з тим, що було вказано вище, до математичної моделі висувається певні вимоги:

- опис потоку речовини;
- опис реакції згорання природного газу;
- розподілення параметрів, оскільки наявні зони печі.

Конвективний теплообмін між димовими газами спіральною трубою. Саме для того, щоб контролювати та управляти процес нагріву речовини потрібна математична модель, яка має забезпечити, щоб поставлені умови виконались.

Математичне моделювання процесів тепломасообміну в апараті, метою якого, є збільшення ефективності та екологічності виробництва продуктів нафтового походження, а також побудова та дослідження моделі складних системи з розподіленими параметрами, базуючись на принципах контролювання технологічних системи і оптимального управління. В результаті, розроблений програмний інструмент, який являється експериментальною установкою обчислювального типу, підвищує економічність і, що не менш важливо, ефективність промислових та лабораторних досліджень, що забезпечує надійність, безвідмовність, простоту і гнучкість у використанні. Чисельний аналіз відбувався у програмному комплексі COMSOL Multiphysics, де застосовувались методи розв'язку дифрівнянь із похідними звичайного типу.

Згідно з аналізом і вимогами, які були поставлені, математична модель складається з рівнянь певного типу – рівняння теплообміну

$$\frac{\partial T_{\text{м}}}{\partial t} - \omega \nabla T_{\text{м}} = K_2(T_з - T_{\text{м}}) - Q(T_в)$$

де u – швидкість руху; ρ – густина суміші; q – кількісна теплота палива при згоранні; $Q\ (T_в)$ – втрати в навколишнє середовищ; $T_м$ – температура продукту; $T_з$ – температура продуктів згорання; K_2 – коефіцієнт теплопередачі.

Основні вимоги, які висуваються до математичної моделі – це розподіленість параметрів та опис реакції горіння природного газу, оскільки природний

газ є основним джерелом теплоти в апараті. Тому ціль виконання даної роботи є розроблення математичної моделі, яка повністю забезпечуватиме поставлені до неї вимоги.

Щоб розробити систему керування, потрібно отримати модель у просторі стану, за допомогою ідентифікації. Головним параметром являється температура продукту на виході. Отже, ідентифікація проводитиметься по контрольній точці, в якості якої було обрано точку середини трубопроводу на виході з апарату.

Що ж являє собою ідентифікація керування? Саме це і є визначення математичної моделі, що зв'язує вхідні та вихідні змінні об'єкту. Для отримання рівнянь статики головними методами є експериментальні, при обробці дослідних матеріалів, що відповідають об'єкта.

На апарат подаються так звані штучні збурення і за методом найменших квадратів виконується обробка результатів. Визначаємо експериментальні точки, які найкраще узгоджують криву $y=f(x)$.

Існує 2 варіанти залежності $y = f(x)$: залежність відома на базі теоретичних міркувань залежність наперед невідома. У 2-гому випадку використовуємо апроксимуючий поліном певного степеня:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{12}x_1x_2.$$

Ідентифікація проводилась за допомогою модуля Simulink. Блок Simulink (System Identification Toolbox), програми MATLAB і додаток для створення математичних моделей із виміряних вхідних та вихідних даних. Все це дозволяє створювати та використовувати моделі динамічних систем, які нелегко моделювати з перших принципів або специфікацій. Можна використовувати вхідні та вихідні дані часової та частотної області, щоб ідентифікувати функції передачі безперервного часу та дискретного часу, моделі процесів та моделі простору станів. Набір інструментів також надає алгоритми для вбудованої онлайн-оцінки параметрів.

Отже, змоделювавши апарат, стало видно перепад температури по печі з низу до верху. В печі наявна гаряча область, що розташована в місці встановлення горілки. Через це підтверджується значне нагрівання внутрішньої сторони спіральної труби в порівнянні з зовнішньою.

Змоделювавши концентрацію продуктів хімічної реакції, можна дійти висновку, що відбувається повне спалювання палива. Вміст палива приймає не нульове значення тільки біля горілки, а далі прямує до 0.

УДК 004.942

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КАТАЛІТИЧНОГО ОКИСНЕННЯ МЕТАНОЛУ У ПРОГРАМІ CHEMCAD

Абрамова А. О., Бондаренко С. Г., Колбасенко М. Г.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, alla_abramova@ukr.net

Процес каталітичного окислення метанолу є основним способом промислового виробництва формальдегіду. Побічними продуктами реакції виступають мурашина кислота та окисли вуглецю. Технологічний процес каталітичного окислення метанолу киснем повітря із застосуванням гетерогенного металевого каталізатора виконується у газовій фазі. Процес протікає у зовнішньо-дифузійній області в адіабатичних умовах із розігрівом реакційної суміші без зміни температури каталізатора у реакторах ідеального витіснення (безперервної дії) [1].

Основною задачею функціонування технологічної системи є дотримання отримання цільового продукту необхідної якості у разі використання виробничих ресурсів. Метою комп'ютерного розрахунку матеріальних балансів є пошук таких параметрів стану потоку у технологічній схемі: загальні витрати, витрати компонентів, склад потоків, температура і ентальпія, параметри потоків технологічної схеми, витратні коефіцієнти компонентів, напівпродуктів, додаткових матеріалів та енергетичних витрат [2].

Проведено комп'ютерний розрахунок матеріального балансу схеми досліджуваного процесу у програмі ChemCAD (рис. 1).

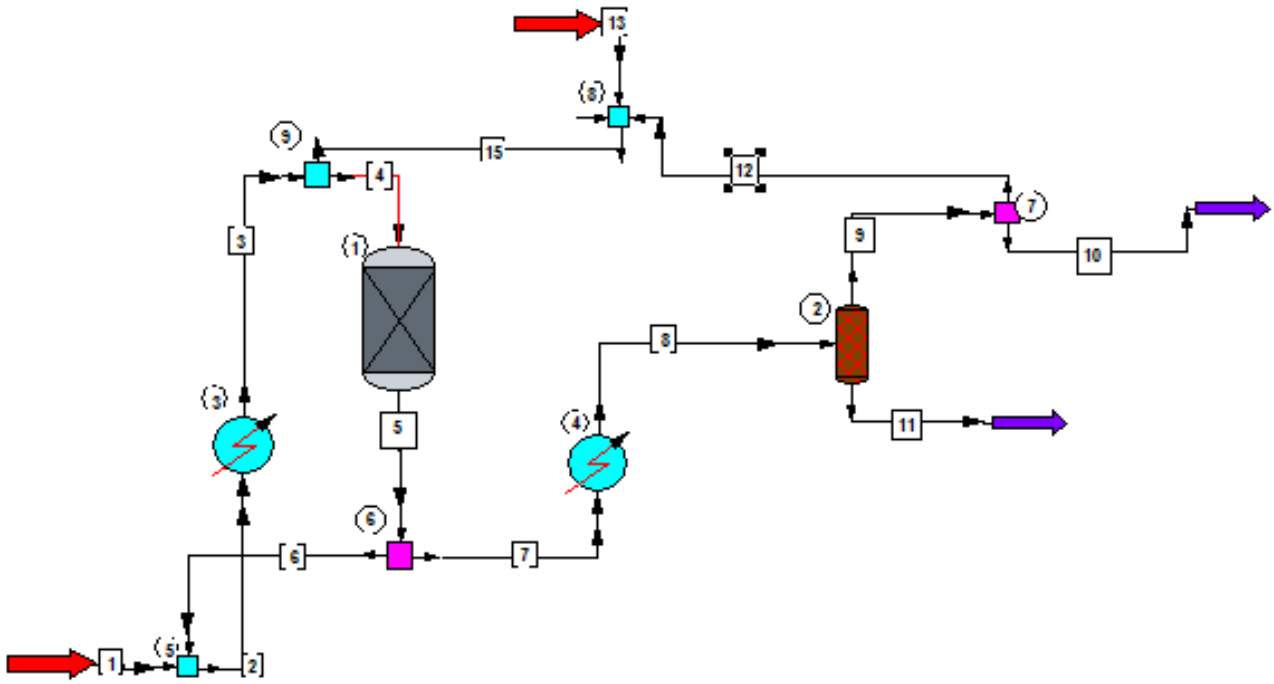


Рис. 1. Технологічна схема каталітичного окислення метанолу у ChemCad:
1 – реактор; 2 – сепаратор; 3 – теплообмінник; 4 – котел-утилізатор;
5, 8, 9, – змішувач; 6,7 – розділювач.

Із використанням побудованої схеми (рис. 1) розраховані матеріальні та енергетичні баланси для масообмінних апаратів, зведені дані представлено у таблиці 1 та у таблиці 2.

Таблиця 1. Результати розрахунку матеріального балансу

Речовини	Молярні витрати, $м^3$/год		Масові витрати, кг/год	
	на вході	на виході	на вході	на виході
Метанол	1,378	0,425	1091	23,183
Формальдегід	0	19,575	0	1000.631
Оксиген	381,469	0,212	545,5	12,309
Вода	0	9,575	0	600,035
Сума	30	30,788	1636,5	1636,159

Таблиця 2. Результати розрахунку енергетичного балансу

Загальний енергетичний баланс	Вхід	Вихід
	МДж/год	
Потік на вході	-7922,66	0
Продукт	0	-22223,8
Нагрівання	2049,72	0
Охолодження	-16350,5	0
Сума	-22223,4	-22223,8

Як видно із зведених таблиць матеріального та енергетичного балансів, результуючі суми досліджуваних параметрів на вході та виході співпадають, отже розрахунок виконано вірно.

1. Мельник С. Р., Мельник Ю. Р., Піх З. Г. Проектування та розрахунок технологічних процесів органічного синтезу. Львів : Львівська Політехніка, 2006. 448 с.

2. Гузьова І. О., Нагурський А. О., Атаманюк В. М. Чисельне моделювання хіміко-технологічних процесів з використанням моделюючої програми ChemCad : навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2021. 136 с. ISBN: 978-966-941-595-0.

УДК 851.5

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ГІДРАТАЦІЇ ЕТИЛЕНУ З УРАХУВАННЯМ ЙОГО НЕСТАЦІОНАРНОСТІ

Борин В. С., Фешанич Л. І., Мельничук В. В.
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
vasyl.melnychuk-akp211k@nung.edu.ua

Етанол належить до багатотонажних і широко застосовуваних продуктів органічного синтезу. Він є добрим, хоч і вогненебезпечним, розчинником; у великих кількостях використовується в харчовій та медичній галузях промисловості, у парфумерії та служить пальним у рідинних ракетних двигунах, антифризом і т. п.

Основна реакція, що протікає в гідрататорі, – утворення етилового спирту:

$$CH_2 = CH_2 + H_2O \leftrightarrow CH_3 - CH_2OH. \quad (1)$$

Відповідно стехіометричної схеми кінетичне рівняння має вигляд

$$\frac{dP_{C2H2OH}}{dt} = \frac{k`}{P_{H_2O}^{\frac{1}{2}}}(P_{C_2H_4} - K^{-1}{}_p \frac{P_{C_2H_5OH}}{P_{H_2O}}) \ , \quad (2)$$

де P_{C2H5OH}, C_{2H4P} , P_{H2O} – парціальні тиски відповідно етилового спирту, етилену та води, атм.; t – умовний час реакції, що визначається як відношення обсягу активної фосфорної кислоти в каталізатор і до об'ємної витрати парогазової суміші, c; $k`$ – константа швидкості реакції, що дорівнює $k` = kP^{\frac{1}{2}}{}_{H_20}$ і визначається з виразу $\log k` = 5.39 - \frac{14860}{4.57T}$; константа швидкості реакції, що спостерігається, $k = -\frac{1}{t}K_p P_{H_2O} \ln(1 - \frac{P_{C_2H_5OH}}{K_p P_{C_2H_4} P_{H\ O}})$; константа рівноваги реакції, ат$^{-1}$, визначається з виразу $K_p = \frac{2093}{T} - 6.304 + (\frac{10.47}{T} - \frac{6.37 \cdot 10^3}{T})P$, де P – загальний тиск системи.

Перетворимо рівняння (2), використовуючи закон Дальтона-Авогадро $p_i = \frac{n_i}{\sum n_i}P$, P_i – парціальний тиск i-го компонента, an_i – число молей i-го компонента, після деяких перетворень отримано кінетичне рівняння процесу прямої гідратації етилену:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{k`}{(\frac{n^0{}_{H_2O} - n}{n^0{}_{C_2H_4} + n^0{}_{H_2O} - n}P)^{\frac{1}{2}}} \cdot$$

$$\cdot(\frac{n^0{}_{C_2H_4} - n}{n^0{}_{C_2H_4} + n^0{}_{H_2O} - n}P - K_p^{-1}\frac{n}{n^0{}_{H_2O} - n}) \cdot$$

$$\cdot\frac{(n^0{}_{C_2H_4} + n^0{}_{H_2O} - n)^2}{P(n^0{}_{C_2H_4} + n^0{}_{H_2O})} \ .$$

де n, $n_{C_2H_4}$, n_{H_2O} – поточні значення етилового спирту, етилену та води.

Ця модель розроблена для стаціонарних умов протікання процесу без урахування втрати активності каталізатора з часом.

Ввівши обрану нами функцію управління процесом θ в кінетичну модель процесу, що протікає в стаціонарних умовах, отримано нестаціонарну кінетичну модель:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{k\theta}{\left(\frac{n^0_{H_2O} - n}{n^0_{C_2H_4} + n^0_{H_2O} - n} P\right)^{\frac{1}{2}}} \cdot$$

$$\cdot\left(\frac{n^0_{C_2H_4} - n}{n^0_{C_2H_4} + n^0_{H_2O} - n} P - K_p^{-1} \frac{n}{n^0_{H_2O} - n}\right) \cdot$$

$$\cdot \frac{(n^0_{C_2H_4} + n^0_{H_2O} - n)^2}{P(n^0_{C_2H_4} + n^0_{H_2O})} .$$

Виводячи рівняння теплового балансу враховано теплоту хімічної реакції одержання етилового спирту та теплоту, що йде на нагрівання олефіну:

$$\frac{4}{p_{кат}\pi D^2}\frac{dT}{dl} = -\frac{\sum r\Delta H_R}{\sum_{i=1}^{3} n_i C_{pi}(\overline{1.3})} - Q_{наг} . \qquad (3)$$

Для обліку перепаду тиску довжині реактора використано рівняння Ергуна

$$\frac{dP}{dl} = -\left(\frac{150}{\mathrm{Re}} + 1.75\right) \cdot \frac{p_{газ} u_0^2 (1-\in)}{d_p g \in^3} \cdot 0.987 \cdot 10^{-5} , \qquad (4)$$

де T – температура реакції, K; $p_{кат}$ – щільність каталізатора, кг/м^3; r – швидкість реакції, моль кг$_{кат}^{-1}$ ч$^{-1}$; C_{pi} – теплоємність і-го компонента, кал моль$^{-1}$ град$^{-1}$; ΔH_R – теплота реакції кал/моль; $Q_{наг}$ – теплота, що йде на нагрівання етилену, кал/моль; n_i – поточне число молей i-го компонента, моль/год; Re – критерій Рейнольдса, рівний $\frac{d_p p_{газ} u_0}{\mu(1-\in)}$, D – діаметр реактора,м; $p_{газ}$ – щільність газу кг/м^3; u_0 – лінійна швидкість, м/с; d_p – еквівалентний діаметр частинок, м; $\in$ – порізність, б/р; μ – в'язкість газу, кг м$^{-1}$с$^{-1}$; l – довжина реактора, м;

Рівняння кінетичної моделі спільно з рівняннями теплового балансу (3) та втрати напору (4) становлять повну математичну модель процесу прямої гідратації етилену з урахуванням нестаціонарності його протікання. Використання запропонованої моделі дозволяє підтримувати продуктивність етилового спирту на потрібному (стаціонарному) рівні з найменшими витратами на витрати фосфорної кислоти.

Використання запропонованої моделі дозволяє підтримувати продуктивність етилового спирту на потрібному (стаціонарному) рівні з найменшими витратами на витрати фосфорної кислоти.

УДК 665.9

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ПРОПАН-1,2-ДІОЛУ

Поліщук В. Д., Квітка О. О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, polishuk.valeria.d@gmail.com

Пропан-1,2-діол (пропіленгліколь) є продуктом широко вживаним у хімічній промисловості (виробництво ненасичених поліефірних смол, еластичних поліуретанів, гідравлічних гальмівних рідин, антифризів тощо), у харчовій та косметичній промисловості.

В роботі розглянуто найбільш поширений спосіб виробництва пропан-1,2-діолу гідролізом оксиду пропілену:

$$C_3H_6O + H_2O \rightarrow C_3H_8O_2.$$

Для максимізації виходу пропіленгліколю реакцію проводять з надмірною кількістю води. Як каталізатор зазвичай застосовують сірчану кислоту. Реакція відбувається в ізотермічному реакторі (24 °С) за тиску 111,5 кПа.

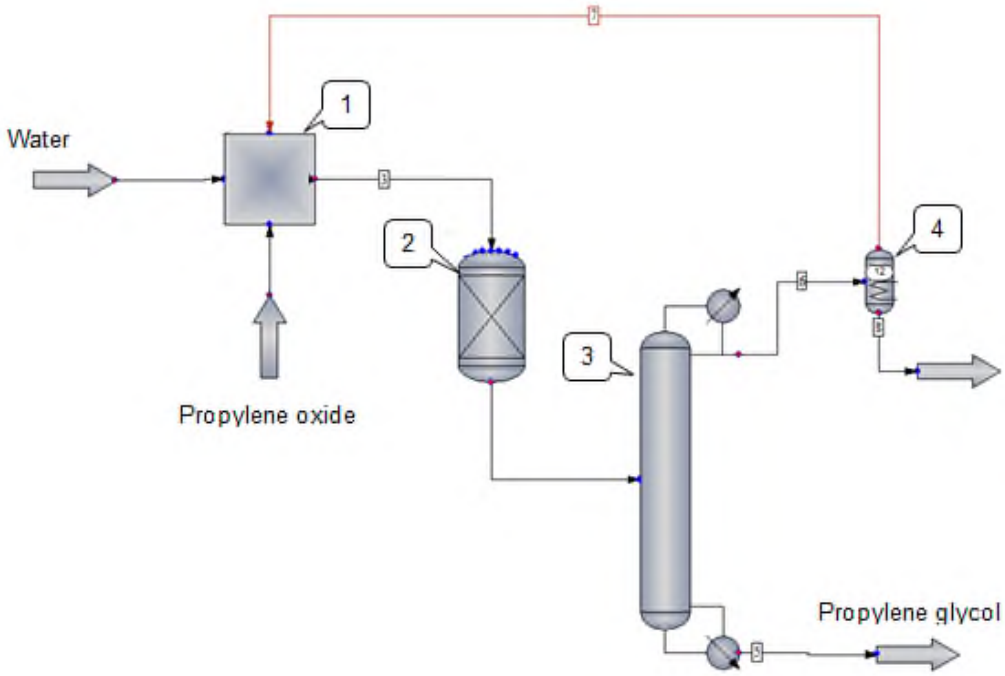
Задача моделювання складної хіміко-технологічної системи (ХТС) у наш час не може бути розв'язана без використання сучасних програмних засобів, одним з яких є програма-симулятор CHEMCAD [1]. В даній роботі для моделювання процесу синтезу пропан-1,2-діолу було застосовано програмний комплекс CHEMCAD 7.1.5. Перевагами програми CHEMCAD є можливість моделювати хімічні, нафтохімічні, фармацевтичні та екологічні процеси. Вона відрізняється від інших схожих програм тим, що в одному інтерфейсі реалізовано можливість моделювання як статики, так й динаміки процесів [2].

Комп'ютерне моделювання ХТС у програмі CHEMCAD складається з таких основних етапів: визначення розмірностей в системі одиниць СІ (вкладка *Engineering Units*); вибір речовин, що приймають участь у процесі (*ThermoPhysical – Select Components*); вибір апаратів (блоків) з бібліотеки програми (*Graphics Palette*), які найбільше відповідають умовам модельованого процесу та їх налаштування; додавання та налаштування вхідних та вихідних потоків (режим *Edit Flowsheet*). Останній етап починається з задавання піктограми *Feed*, що позначає вхідні потоки та закінчується виставленням піктограми *Product* (вхідний потік), також задаються параметри потоків (температура, тиск тощо).

Для імітаційного моделювання процесу (див. рисунок) обирались лише апарати, в яких змінюються матеріальні потоки (табл. 1).

Таблиця 1. Відповідність реальних та модельних апаратів

№	*Апарат на технологічній схемі*	*Блок у симуляторі*	*Вхідні потоки*	*Вихідні потоки*
1	Змішувач	Stream mixer	1, 2, 7	3
2	Реактор	Equilibrium reactor	3	4
3	Ректифікаційна колона	Shortcut column	4	5, 6
4	Сепаратор	Component Separator	6	7, 8



Модель ХТС синтезу пропан-1,2-діолу в CHEMCAD

За результатами розрахунків вихід продукту складає 99,5 %. Надлишкова вода подається на рецикл до змішувача. За допомогою побудованої моделі було визначено параметри стану потоків: молярні, масові, об'ємні витрати, теплові витрати і складено сумарний матеріальний баланс процесу (табл. 2).

Таблиця 2. Матеріальний баланс технологічної схеми (кг/год)

Речовина	Вхідні потоки	Вихідні потоки
Вода	1237.751	18.856
Оксид пропилену	3949.440	19.747
Пропан-1,2-діол	0	5148.588
Сума	5187.191	5187.191

На основі математичної моделі ректифікаційної колони [3] було створено програмний додаток в середовищі Visual Studio 2020 (мова C#), за допомогою якого розраховані основні параметри колони *3*, а також розподіл рідини та пари по тарілках колони. Результати розрахунків збігаються з контрольним розрахунком у MathCAD та з результатами моделювання у симуляторі.

1. Бугаєва Л. М., Бойко Т. В., Безносик Ю. О. Системний аналіз хіміко-технологічних комплексів: Підручник. Київ : Інтерсервіс, 2017. 254 с.

2. Бугаєва Л. М, Іванов М. В, Рибенко П. О., Сідоренко І. А. Використання універсальних моделюючих програм для розрахунку хіміко-технологічних систем. *Комп'ютерне моделювання в хімії та технологіях і системах сталого розвитку*: Збірник наукових статей Шостої міжнарод. наук.-практ. конф. Київ, 16–18 травня 2018 року. 2018. С. 160–164.

3. Гузьова І. О. Моделювання та оптимізація роботи ректифікаційної колони для отримання 97 %. *Chemistry, Technology and Application of Substances*. 2018. Том 1. № 2. С. 111–118.

УДК 004.942

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КОНВЕРСІЇ ОКИСИДУ ВУГЛЕЦЮ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛЮЮЧОЇ ПРОГРАМИ CHEMCAD

Абрамова А. О., Бондаренко С. Г., Мельник А. В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, alla_abramova@ukr.net

Процес конверсії окисиду вуглецю використовують для отримання чистого водню і азотно-водневої суміші, метанолу, рідких вуглеводнів. Як відомо, метанол необхідний промисловості в мільйонах тонн, а також він може також стати основним джерелом для одержання бензину. У довгостроковій перспективі діоксид вуглецю у разі наявності потужних джерел дешевого водню може стати головним, а можливо і єдиним сировинним джерелом промислового органічного синтезу [1].

Конверсія реалізує процес перероблення газів з метою зміни складу вихідної газової суміші. Перетворюють зазвичай газоподібні вуглеводні (метан і його гомологи) і оксид вуглецю з валентністю II з метою отримання водню або його сумішей. Ці суміші використовують для синтезу органічних продуктів і як гази-відновники в металургії або переробляються для отримання чистого водню.

Розглядається конверсія окисиду вуглецю з водяною парою, що проходить у два етапи: I етап – на середньотемпературному залізохромовому каталізаторі, II етап – на низькотемпературному мідьвмісному каталізаторі.

Для розрахунку матеріального балансу схеми досліджуваного процесу у моделюючій програмі ChemCAD створено схему процесу (рис. 1), задано початкові дані, встановлено необхідну температуру [2].

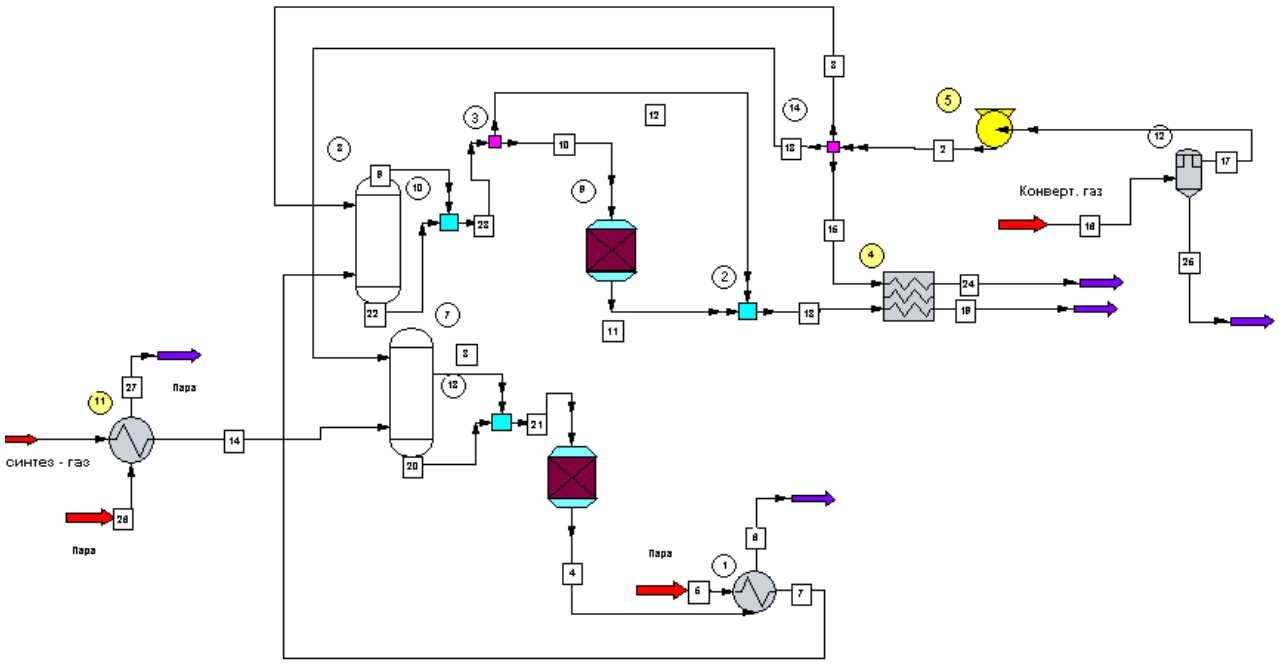


Рис. 1. Схема конверсії оксиду вуглецю в ChemCAD

Послідовність побудови технологічної схеми у ChemCAD:

1. Завантажуємо програму ChemCAD;

2. Обираємо речовини, що приймають участь у процесі;

3. Визначаємо термодинамічні властивості, для цього обираємо пункт меню «Thermophysical → Thermodinamic settings» на панелі інструментів;

4. Обираємо одиниці вимірювання величин, що будуть застосовуватися, для цього обираємо пункт меню «Format → Engineering Units…» на панелі інструментів;

5. Збираємо технологічну схему. Задаємо початкові та кінцеві потоки. Встановлюємо зв'язки із використанням пункту меню «Streams» на панелі інструментів. Для редагування потоків обираємо підменю «Edit Stream» на панелі інструментів;

6. Запускаємо схему з меню «Run» на панелі інструментів.

У таблиці представлено результати розрахунку матеріального балансу схеми.

Результати розрахунку матеріального балансу

Середньо-температурний конвертор	Надходження		Витрата	
	$м^3$/год;	%	$м^3$/год;	%
CO_2	6935,707	4,89	14750,79	10,4
CO	11204,93	7,9	3389,845	2,39
H_2	51670,31	36,43	59485,39	41,94
N_2	20282,33	14,3	20282,33	14,3
Ar	255,3021	0,18	255,3021	0,18
CH_4	283,669	0,2	283,669	0,2
H_2O	51202,25	36,1	43259,52	30,5
Сумарний баланс	141834,5	100	141834,5	100

За результатами матеріального балансу технологічної схеми можна зробити висновок, що розрахунки проведено правильно, про це свідчить рівність надходження та витрати речовин.

1. Технологія зв'язаного азоту: підручник / Л. Л. Товажнянський та ін.; за ред. О. Я. Лобойка. Харків: НТУ «ХПІ», 2007. 536 с. ISBN: 978-966-384-070-3.

2. Гузьова І. О., Нагурський А. О., Атаманюк В. М. Чисельне моделювання хіміко-технологічних процесів з використанням моделюючої програми ChemCad: навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2021. 136 с. ISBN: 978-966-941-595-0.

УДК 662.753.3+547.915

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА

Крамаренко Д. П., Бугаєва Л. М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, geek.ethereal@gmail.com

Швидкий розвиток промисловості та високі потреби в паливі загострює проблему скінченності викопного палива, відмовитись від якого в сьогоднішніх реаліях неможливо. Одним з шляхів часткового вирішення даної проблеми може бути виробництво біопалива.

Як відомо, біодизель – це відновлювальне та екологічне паливо, яке отримують з органічної та відновлюваної сировини, включаючи свіжі або відпрацьовані рослинні олії, тваринні жири та олійні рослини [1]. Традиційні процеси виробництва біодизельного палива мають кілька недоліків: низька конверсія, достатньо довгий час реакції та ін.

Для подолання цих недоліків хіміками запропоновано використовувати мікрореактори, що представляють собою мініатюризовані реакційні системи, виготовлені із застосуванням методів мікротехнології [2, 3]. Мікрореактори дозволяють не тільки збільшити об’єм виробництва біодизеля, а й зробити технологічний процес набагато ефективнішим, завдяки кращій передачі маси та тепла, меншому часу перебування, зменшенню кількості реагентів, каталізаторів та відходів, легкій та компактній конструкції системи, більш ефективному змішуванню, кращому контролю процесом та малому споживанню енергії [3].

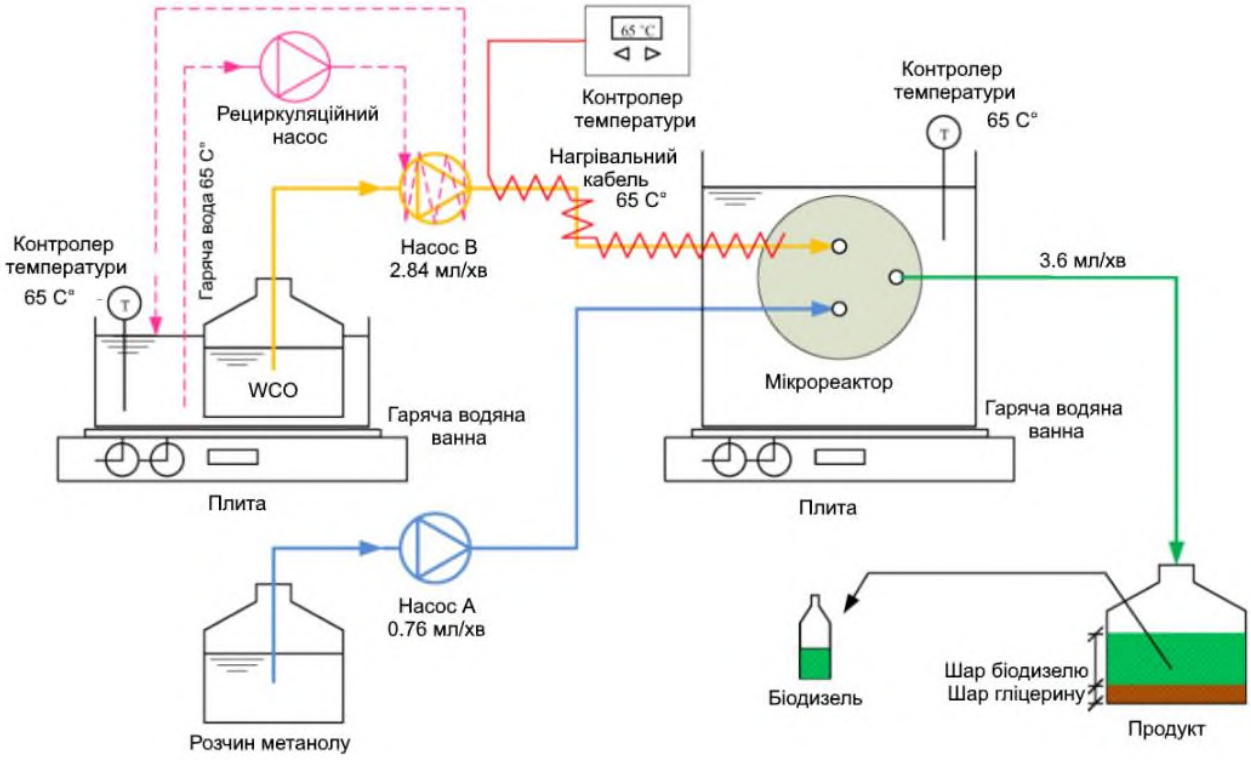
Основним методом перетворення масел на біодизель є трансестерифікація, суть якої полягає у видаленні з сировини гліцерину та заміною його на спирт.

У промислових масштабах біодизель отримують метанолізом або етанолізом рослинної олії, що каталізується гомогенною основою, із застосуванням NaOH або KOH як каталізатора. Найчастіше для виробництва біодизелю використовують метанол, так як він дешевий та має хороші фізико-хімічні властивості.

Виробництво біодизеля з використанням гомогенних каталізаторів забезпечує швидкі реакції високої конверсії, але одночасно виникають проблеми омилення та труднощі з розділенням отриманого біодизеля та каталізатора [4]. Омилення позбавляє реакцію трансестерифікації не тільки реагентів, які можуть бути перетворені в біодизель, але й каталізатора необхідного для протікання реакції. Дана проблема виникає через місткість у сировині вільних жирних кислот та води. Тому, при проведенні реакції трансестерифікації необхідно контролювати їх вміст. Отже у розробці математичної моделі процесу та системи керування ним необхідно враховувати всі розглянуті чинники.

В даній роботі для отримання оптимальних показників ведення процесу виробництва біодизельного палива із використанням мікрореатора було досліджено технологічну схему, яка наведена на рисунку. Через вхідні отвори, розташовані близько до центру спірального мікрореактора, за допомогою високотискового шприцового насосу окремо подаються два потоки: один для відпрацьованої олії та інший для метанолу, змішаного з каталізатором. Невелика ділянка мікроканалу веде кожен потік від вхідних отворів до Т-розгалуження, де

починається реакція трансестерифікації. Реакція відбувається під час руху реагуючої суміші через спіральний мікроканал. Для отримання органічної та водної фракції зібраний продукт розділяють протягом 30 хвилин.



Технологічна схема отримання біодизелю

Виконане дослідження та розрахунки показали, що оптимальними умовами отримання біодизелю є молярне співвідношення метанолу до олії 6:1, температура реакції 65 °С та час перебування 5 с, що цілком узгоджується з останніми дослідженнями в галузі отримання біопалив [5].

1. A.C. Ahmia, F. Danane , R. Bessah, I. Boumesbah Raw material for biodiesel production. Valorization of used edible oil. Revue des Energies Renouvelables Vol. 17 №2 (2014) 335 – 343 [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: https://www.cder.dz/download/Art17-2_14.pdf.

2. Anita Šalić, Bruno Zelić. MICROREACTORS – PORTABLE FACTORIES FOR BIODIESEL FUEL PRODUCTION. Mikroreaktori – prenosiva postrojenja goriva i maziva, 50, 2 : 85-110, 2011. URL: https://core.ac.uk/download/pdf/14439677.pdf

3. E. S. Borovinskayaa and V. P. Reshetilovskii. Microstructural Reactors: Concept, Development and Application. Russian Journal of Applied Chemistry, 2008, Vol. 81, No. 12, pp. 2211−2231.

4. Кукушкіна О.Ю Аналіз кінетичних моделей процесу отримання біодизельного палива [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/18284/1/%d0%9a%d1%83%d0%ba%d1%83%d1%88%d0%ba%d1%96%d0%bd%d0%b0%20%d0%9e.%d0%ae.%20.pdf.

5. Akkarawatkhoosith N, Srichai A, Kaewchada A, Ngamcharussrivichai C, Jaree A, Evaluation on safety and energy requirement of biodiesel production: conventional system and microreactors, Process Safety and Environmental Protection (2019), doi: https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.10.018.

УДК 621.43.056

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ГАЗОВИХ КОНТАКТНИХ ВОДОНАГРІВАЧІВ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

Грищенко В. О.
НУБіП України, vlgr@nubip.edu.ua

Збільшення вартості енергії для агропромислових виробництв інтенсифікує впровадження відновлювальних джерел енергії. Одним з таких напрямків є виробництва біогазу. Найбільш простим способом використання біогазу є його безпосереднє спалювання у водогрійних котлах або контактних водонагрівачах, а нагріта вода використовується для теплопостачання самого біореактора, сумісного устаткування і виробничих приміщень агропромислового виробництва. Контактні водонагрівачі дозволяють досягати високого коефіцієнта використання теплоти спаленого газу за рахунок високої ефективності процесів контактного тепло і масообміну в установці малих габаритів [1–3].

Розглянемо процес низькотемпературного нагріву води для теплопостачання біореактору (температура нагріву води на виході порядку 60 °С, зворотної води 40 °С). Для цього використаємо схему теплових і матеріальних потоків за якими біогаз і повітря подається в пальних розміщений в камері згоряння (жарова труба) де утворюється газоповітряна суміш, яка при спалювані утворює високотемпературні (1000 °С) продукти згоряння (топкові гази). Топкові гази поступають в камеру зрошування де при взаємодії з краплинами (струменями) розпиленої води теплота від нагрітих газів передається воді – вода нагрівається, а гази охолоджуються. Механізм нагріву води і охолодження газів надто складний, особливо в режимі протитечії, оскільки разом з теплообміном відбувається і обмін масою, спрямованість якого має неоднозначний характер.

Запишемо рівняння теплового і матеріального балансів, що описують зміну параметрів води і газів на виході з водонагрівача в часі, та представлені у вигляді системи звичайних диференціальних рівнянь:

$$m_g c_g \frac{dt_2}{d\tau} = G_g c_g (t_1 - t_2) + \alpha f (\bar{\theta} - \bar{t}) \mp r\beta f (a\bar{\theta} + c - \bar{d}), \quad (1)$$

$$m_w c_w \frac{d\theta_2}{d\tau} = G_w c_w (\theta_1 - \theta_2) + \alpha f (\bar{t} - \bar{\theta}) \pm r\beta f (a\bar{\theta} + c - \bar{d}), \quad (2)$$

$$m_g \frac{dd_2}{d\tau} = G_g (d_1 - d_2) \pm \beta f (a\bar{\theta} + c - \bar{d}), \quad (3)$$

де t, θ – температура газів і води; d – вологовміст газів; c_g, c_w – питома теплоємність газів і води; H – висота робочої зони камери нагріву; f – поверхня розділу рідкої і газової фази; α – коефіцієнт теплообміну; β – коефіцієнт масообміну; $d''(\theta) = a\theta + c$ – насичений вологовміст газу при температурі води; a, c – коефіцієнти лінійної апроксимації; r – питома теплота пароутворення; $\bar{t} = 0.5(t_1 + t_2)$; $\bar{\theta} = 0.5(\theta_1 + \theta_2)$; $\bar{d} = 0.5(d_1 + d_2)$– середні значення параметрів (1, 2 – індекси, що означають значення параметрів на вході і виході).

Підставляючи значення змінних параметрів в рівняння (1) – (3) та доповнюючи рівнянням теплового балансу корпусу, після множення і нехтуючи складовими другого порядків мализни, віднімання рівнянь статики і відповідних перетворень отримаємо:

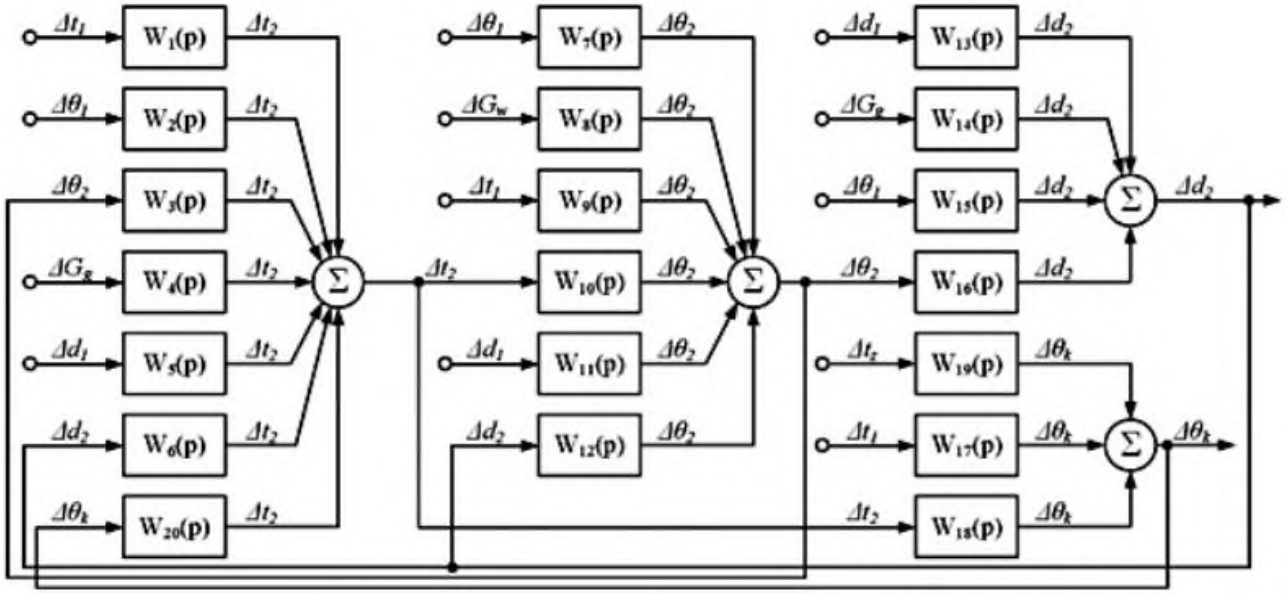
$$T_1 \frac{d\Delta t_2}{d\tau} + \Delta t_2 = k_1 \Delta t_1 + k_2 \Delta\theta_1 + k_3 \Delta\theta_2 + k_4 \Delta G_g + k_5 \Delta d_1 + k_6 \Delta d_2 + k_{20} \Delta\theta_k, \quad (4)$$

$$T_2 \frac{d\Delta\theta_2}{d\tau} + \Delta\theta_2 = k_7 \Delta\theta_1 + k_8 \Delta G_w + k_9 \Delta t_1 + k_{10} \Delta t_2 + k_{11} \Delta d_1 + k_{12} \Delta d_2, \quad (5)$$

$$T_3 \frac{d\Delta d_2}{d\tau} + \Delta d_2 = k_{13} \Delta d_1 + k_{14} \Delta G_g + k_{15} \Delta\theta_1 + k_{16} \Delta\theta_2, \quad (6)$$

$$T_4 \frac{d\Delta\theta_k}{d\tau} + \Delta\theta_k = k_{17} \Delta t_1 + k_{18} \Delta t_2 + k_{19} \Delta t_z. \quad (7)$$

Застосовуючи до рівнянь (4) – (7) перетворення Лапласа за нульових початкових умов, визначимо передавальні функції окремих інерційних ланок по каналах керування і збурення та отримані вище передавальні функції складено структурну схему лінійної математичної моделі динаміки теплових і масообмінних процесів у контактному водонагрівачі.



Структурна схема лінеаризованої математичної моделі теплових і матеріальних процесів у контактному газовому водонагрівачі

З використанням отриманих передавальних функції можна синтезувати САУ.

1. Аронов И.З. Контактный нагрев воды продуктами сгорания природного газа. Ленинград: Недра, Ленинградское отделение, 1990. 280 с.

2. Варламов Г.Б., Романова Е.А., Дащенко О.П., Касянчук С.Л., Очеретянко Н.Д. Использование контактных теплогенераторов нового поколения для теплопроизводства. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2016. Вип. 6, № 1(84). С. 52–60.

3. Соснин Ю. П., Бухаркин Е.Н. Высокоэффективные газовые контактные водонагреватели. Москва: Стройиздат, 1985. 325 с.

УДК 620.179

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗНИХ АЛГОРИТМІВ ТА КОНФІГУРАЦІЙ НЕЙРОМЕРЕЖ У ВИРІШЕННІ ЗАДАЧІ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ДІАГНОСТИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Огір О. О.
ІПМЕ ім. Г. Є. Пухова, lenaogir@gmail.com

Зростання популярності глибокого навчання та швидкий розвиток технологій обробки даних дозволяють створювати мережі з нейронами, які можуть навчатися розв'язувати складні завдання без втручання людини. Одним із важливих аспектів при створенні таких мереж є вибір їх архітектури, тобто способу організації нейронів та шляхів їх взаємодії. Вибір архітектури мережі є важливим етапом при розробці системи машинного навчання.

Далі розглянемо дослідження кількох конфігурацій з різною кількістю елементів та визначимо основні показники навчальної множини та узагальнюючої здатності мережі. Один із методів вибору архітектури мережі полягає у дослідженні кількох конфігурацій з різною кількістю елементів. Для цього можна використовувати навчальні множини даних, які складаються з вхідних даних та відповідних їм вихідних даних або міток. Навчальні множини можуть бути збірками зображень, текстів, відео або інших типів даних, в залежності від конкретної задачі. Для дослідження кількох конфігурацій мережі необхідно змінювати кількість нейронів та шарів, а також типи функцій активації та методи оптимізації. Наприклад, для мережі з обробки зображень можна досліджувати різні комбінації кількості прихованих шарів, кількості нейронів у кожному шарі, типів функцій активації (наприклад, *ReLU, sigmoid, tanh*) та методів оптимізації (наприклад, *SGD, Adam, RMSprop*).

При виборі архітектури мережі, ми можемо враховувати кілька факторів, таких як кількість елементів, розмір мережі та тип елементів. Дослідження кількох конфігурацій з різною кількістю елементів може допомогти визначити оптимальну конфігурацію для вашої задачі. Для дослідження кількох конфігурацій мережі, ми можемо використовувати навчальну множину даних. Навчальна множина – це набір даних, які використовуються для навчання мережі. Навчальну множину можна розділити на дві частини: навчальну та валідаційну. Навчальна множина використовується для навчання моделі, тоді як валідаційна множина використовується для оцінки узагальнюючої здатності моделі.

Для розділення навчальної множини на навчальну та валідаційну, зазвичай використовують метод перехресної перевірки (*cross-validation*). Цей метод полягає у тому, щоб розбити навчальну множину на кілька частин (наприклад, на 5), використовуючи одну частину для валідації та інші частини для навчання моделі. Цей процес повторюється кілька разів з різними комбінаціями частин навчальної множини, доки кожна частина не була використана для валідації.

Узагальнююча здатність моделі – це її здатність добре працювати на нових, раніше не бачених даних. Якщо модель має високу точність на валідаційній множині, це може свідчити про те, що вона має високу узагальнюючу здатність.

Однак, якщо модель має низьку точність на валідаційній множині, це може свідчити про те, що вона перенавчена і має низьку узагальнюючу здатність. У такому випадку, можна спробувати зменшити кількість елементів в мережі або збільшити кількість даних для навчання. Важливо пам'ятати, що вибір оптимальної архітектури мережі залежить від конкретної задачі та набору даних. Якщо задача полягає в класифікації зображень, то зазвичай використовують згорткові мережі (*convolutional neural networks*), які добре працюють зі зображеннями [1].

Після вибору архітектури мережі важливо провести дослідження кількох конфігурацій з різною кількістю елементів та визначити основні показники навчальної множини та узагальнюючої здатності моделі, щоб підібрати найкращу конфігурацію для конкретної задачі. Для дослідження та комп'ютерного моделювання характеристик якості оперативної інформації діагностичного зображення, можна використовувати різні метрики, такі як точність (*accuracy*), чутливість (*sensitivity*), специфічність (*specificity*), F-міра (*F-measure*) тощо. Метрики можна обчислити, порівнюючи прогнози мережі з фактичними значеннями відповідних міток (маркерів). Метод перехресної перевірки (*cross-validation*) та використання метрик якості моделі пов'язані з визначенням ефективності навчальної моделі [2]. Після того, як навчальну множину було розділено на навчальну та валідаційну, можна використовувати різні методи машинного навчання (наприклад, нейронні мережі) з різними конфігураціями (з різною кількістю елементів). Далі, використовуючи валідаційну множину, можна оцінити якість моделі за допомогою метрик якості (точність, чутливість, специфічність тощо).

Таким чином, метод перехресної перевірки дозволяє оцінити ефективність моделі на основі використання декількох частин навчальної множини, що допомагає зменшити ймовірність перенавчання (*overfitting*) та перевірити, як добре модель відповідає на нові дані. А використання метрик якості дозволяє оцінити, наскільки точно модель передбачає вихідні дані і визначити, які елементи моделі необхідно покращити, щоб отримати кращі результати. Для розбиття навчальної множини на навчальну та валідаційну, можна використовувати крос-валідацію (*cross-validation*). Крос-валідація допомагає оцінити загальну здатність моделі до узагальнення, а не просто до вивчення певної підмножини даних. Зазвичай, для крос-валідації використовують метод *k-fold*, де дані розбивають на *k* неперетинаючихся частин, з яких одна частина використовується для валідації, а решта – для навчання. Процедуру повторюють *k* разів, змінюючи щоразу частини для валідації та навчання.

1. K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, Deep residual learning for image recognition / IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 770–778, 2016.

2. Кизим Н.А. Нейронные сети: теория и практика применения : монография / Н. А. Кизим, Е. Н. Ястремская, В. Ф. Сенчуков. Х. : ИД «ИНЖЭК», 2016. 240 с.

УДК 681.5.013

НАЛАШТУВАННЯ РЕГУЛЯТОРА У ПІДСИСТЕМІ РОЗДІЛЕННЯ СУМІШІ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ПРОПАН-1,2-ДІОЛУ

Поліщук В. Д., Квітка О. О., Шахновський А. М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, polishuk.valeria.d@gmail.com

Внаслідок своїх відомих особливостей, класичні ПІ- та ПІД-регулятори, як і раніше, широко використовуються в практиці проектування автоматизованих систем керування. При цьому, оскільки якість регулювання такими регуляторами критично залежить від точності налаштування їх параметрів, актуальною є задача розвинення і впровадження високоточних методів налаштування регуляторів.

Дана робота присвячена дослідженню методів розрахунку параметрів ПІ-регулятора у складі автоматизованої системи керування розділенням суміші пропан-1,2-діол – вода в процесі виробництва пропан-1,2-діолу шляхом гідратації оксиду пропілену. Досліджуваний ПІ-регулятор є частиною системи керування ректифікаційної колони і застосовується для керування температурою (шляхом варіювання витратою охолоджувального агента).

Як і у більшості підходів до визначення параметрів налаштування регуляторів, автори для розрахунку параметрів досліджуваного ПІ-регулятора виходили з відомої перехідної характеристики об’єкту керування, за якою було ідентифіковано передавальну функцію відкритої системи:

$$G(s)=\frac{0.0356}{8s+1}.$$

Коефіцієнти підсилення k_p, k_i пропорційної та інтегральної складових ПІ-регулятора, якому відповідає закон керування

$$u(t)=k_p e(t)+k_i\int_0^t e(\tau)\,d\tau,$$

шукаємо шляхом мінімізації цільової функції – функції нев’язки:

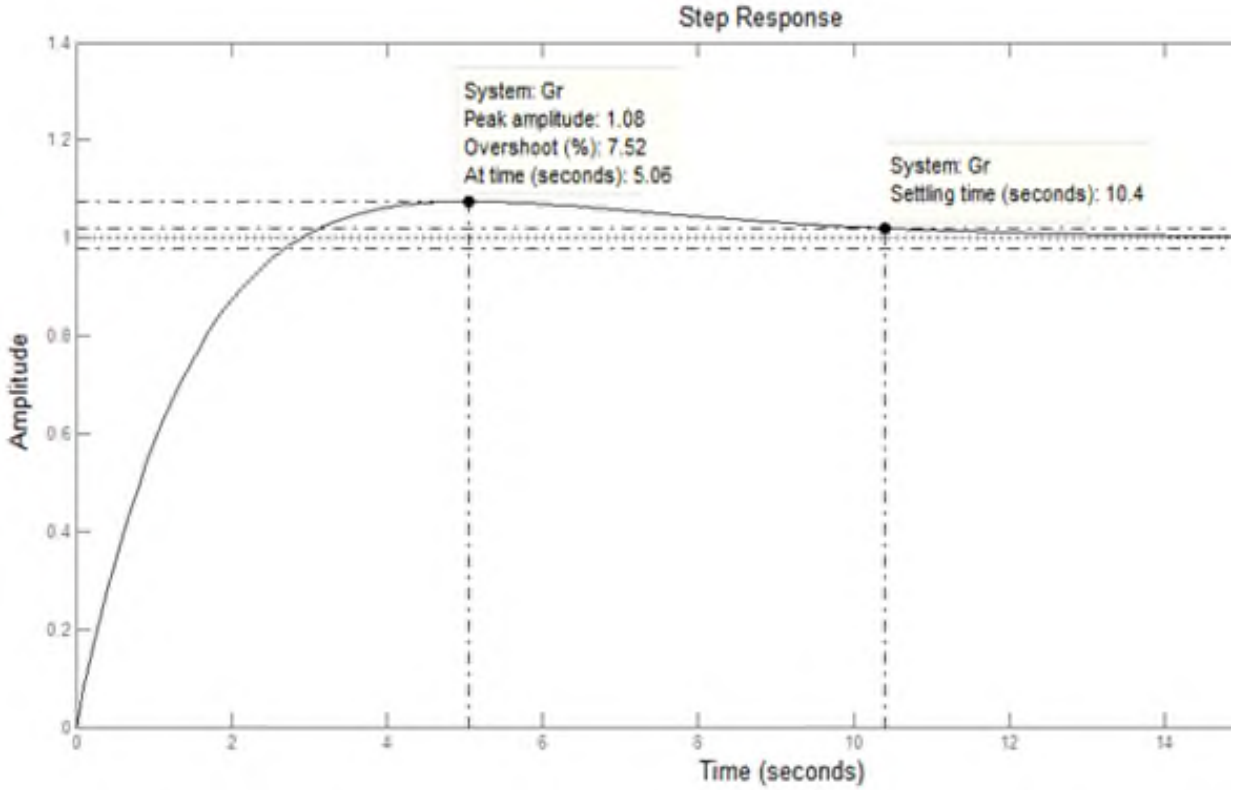
$$J=\frac{1}{2(0.0356k_i)^2(0.00127k_pk_i+0.0356k_i)}((0.00127)^2k_i^4+0.00127k_p^2\times$$
$$\times(0.00127k_p^2+0.0712k_p+1+0.2848k_i))-\frac{0.0356k_i\times 0.0356k_p}{(0.0356k_i)^2}$$

Попередні дослідження показали, що наведена вище цільова функція є багатоекстремальною. Тому для знаходження глобального оптимуму функції $J(k_p, k_i)$ було використано чисельний алгоритм *«Clonal Selection Algorithm»*, реалізований у пакеті *MATLAB*. Вказаний алгоритм пошуку екстремуму [1] належить до класу біонічних, поряд з генетичними алгоритмами, алгоритмами “мурашиної колонії”, “бджолиного рою”, “зозулиного пошуку” тощо. Внаслідок оптимізації отримано значення $k_p = 176{,}5685$, $k_i = 49{,}9823$, що відпові-

дають глобальному мінімуму функції нев'язки. Отже, закон керування для досліджуваного випадку матиме вигляд:

$$u(t) = 176.568e(t) + 49.9823\int_0^t e(\tau)\,d\tau\,.$$

Результат налаштування ПІ-регулятора на основі наведеного вище підходу презентує перехідна характеристика замкненої системи наведена на рисунку.



Перехідна характеристика процесу регулювання температури суміші шляхом зміни витрати подачі води в теплообмінник

Аналіз ефективності наведеного вище підходу до визначення налаштувань регулятора було здійснено шляхом порівняння із налаштуваннями регулятора, отриманими за методами Зиглера-Нікольса, Чена-Хроунса-Резвика (метод *CHR*), а також із результатами, отриманими відповідним автоматизованим засобом (тюнером) середовища *MatLab Simulink* [2]. Зокрема, пропонований підхід дає змогу покращити величину часу регулювання з 27,3 с (метод *CHR*) до 10,4 с (пропонований підхід), відносне перерегулювання з 24,2 % (метод *CHR*) до 7,5 % (пропонований підхід), що дозволяє рекомендувати описаний спосіб налаштування регулятора для практичного використання.

1. De Castro L. N., Von Zuben F. J. Learning and Optimization Using the Clonal Selection Principle. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 2002. Vol. 6, No. 3. P. 239–251.

2. Кіцун А. В., Шахновський А. М., Квітка О. О. Аналіз параметрів налаштування ПІД-регулятора. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології* :матеріали VIII міжнар. наук.-практ. конф. мол. учених, аспір. і студ. «АКІТ-2021» (Київ, НТУУ «КПІ», 21–22 квітня 2021 р.). Київ, 2021. С. 76–77. ISBN 978-966-990-021-0.

УДК 681.5+004.896

ЗАСТОСУВАННЯ КОМПЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ ВИРОБІВ ЗА ДОПОМОГОЮ АНАЛІЗУ ТЕКСТУРИ

Малішевський В. С., Ковалюк Д. О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, boomcrouser@gmail.com

Комп’ютерний зір, як технологія створення штучних систем, вивчає техніки та алгоритми обробки зображень і відео. Прикладами таких систем можуть бути автономні транспортні засоби, промислова робототехніка, системи відео спостереження, людино-машинні системи. В їх основу покладено задачі автоматичного розпізнавання обличчя, виявлення тих чи інших об'єктів, визначення їх ознак, класифікації зображень, тощо.

Математичною основою методів, що використовуються в задачах комп’ютерного зору є лінійна алгебра, матричні обчислення, математична статистика, методи оптимізації.

Окремими напрямом використання систем комп'ютерного зору є виявлення дефектів для різних об’єктів і процесів. Розвиток автоматизації і зменшення впливу людського фактору, поки не дозволяє повністю вирішити проблему відхилень у виробничих процесах, які можуть спровокувати дефекти. Тому розвиток систем контролю якості продукції на основі комп'ютерного зору є безумовно перспективним і актуальним.

В багатьох випадках технологія комп'ютерного зору використовується для виявлення дефектів на виробництві в режимі реального часу. Є декілька методів, які використовуються для виявлення дефектів на конвеєрі: метод аналізу текстури (використовуються для виявлення недоліків, такі як плями, подряпини, тріщини тощо), метод аналізу кольору (використовуються для виявлення дефектів, таких як відхилення від норми кольору або нерівномірність заливки), методи аналізу форми (використовуються для виявлення таких дефектів як відхилення від норми форми або нерівномірність розмірів), методи нейромереж (ці методи використовуються для автоматичного виявлення дефектів за допомогою навчання нейромережі).

В роботі розглядається задача виявлення дефекту текстури виробу на рухомому конвеєрі, що дозволяє виконувати класифікацію бракованих (дефективних) виробів на основі порівняння з валідним зразком.

Алгоритм розв’язання цієї задачі передбачає наступні етапи:

- зображення поточного та еталонного виробу необхідно перевести у відтінки сірого та застосувати для них фільтр Габора;
- обчислити гістограми текстурних характеристик для обох зображень, за допомогою відстані *Xi*-квадрат, та нормалізувати їх;
- після нормалізації слід обчислити відстань між гістограмами текстурних характеристик.

Для проведення досліджень використано зображення, представлені на рис. 1.

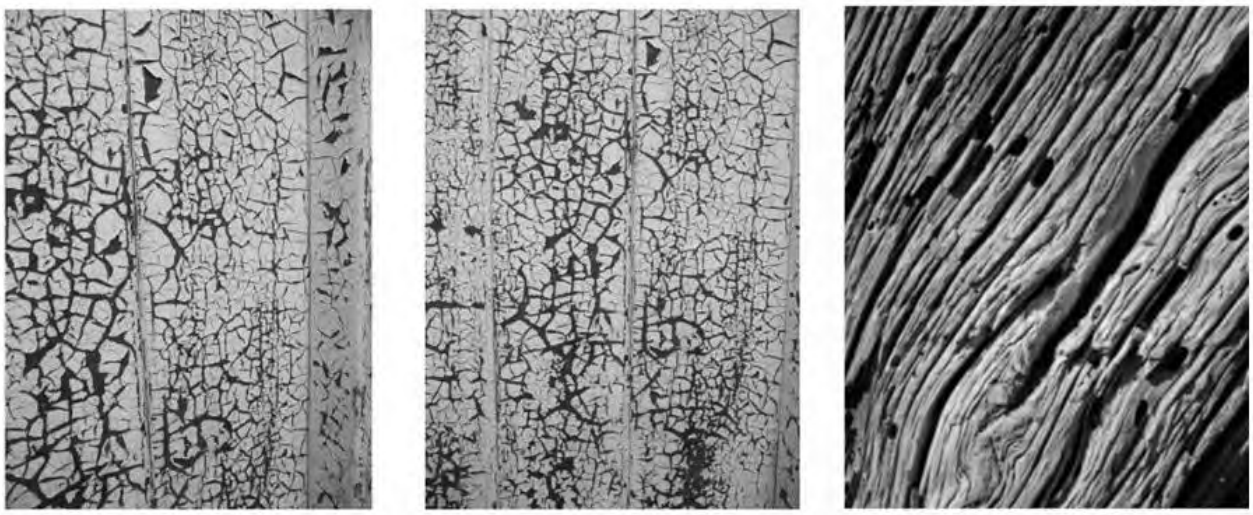


Рис 1 - Зображення текстур взятих для аналізу дефектів

Для розрахунку схожості між текстурами виконано приграмну реалізацію наведеного вище алгоритму на мові Python (фрагмент)

```
import cv2
import numpy as np
# Завантажуємо два зображення для порівняння
img1 = cv2.imread('image1.jpg')
img2 = cv2.imread('image2.jpg')
# Конвертуємо зображення в чорно-білий формат
gray_img1 = cv2.cvtColor(img1, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
gray_img2 = cv2.cvtColor(img2, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
# Застосовуємо фільтр Габора до обох зображень
gabor_filter = cv2.getGaborKernel((kernel_size, kernel_size), sigma, theta,
lambda_, gamma, psi)
filtered_img1 = cv2.filter2D(gray_img1, cv2.CV_8UC3, gabor_filter)
filtered_img2 = cv2.filter2D(gray_img2, cv2.CV_8UC3, gabor_filter)
# Обчислюємо гістограми текстурних характеристик для обох зображень
num_bins = 16
hist1 = cv2.calcHist([filtered_img1],[0],None,[num_bins], [0, 255])
hist2 = cv2.calcHist([filtered_img2],[0],None,[num_bins], [0, 255])
# Нормалізуємо гістограми
hist1 = cv2.normalize(hist1, hist1).flatten()
hist2 = cv2.normalize(hist2, hist2).flatten()
# Обчислюємо відстань між гістограмами текстурних характеристик
dist = cv2.compareHist(hist1, hist2, cv2.HISTCMP_CHISQR_ALT)
print("Відстань між зображеннями: ", dist)
```

В результаті отримаємо наступні метрики: між лівим (еталонним) і серднім зображенням – 0,0022, між лівим і правим – 2, 425. Якщо значення відстані мале, то можна стверджувати що зображення схожі між собою, тобто мають схожі текстурні характеристики. Важливо зазначити, що метод порівняння зображень за текстурними характеристиками не є універсальним. Він підходить для порівняння зображень зі схожими текстурними характеристиками, але не допоможе виявити різницю між зображеннями із зовсім різними текстурами.

УДК 004.94:621.95

МОДЕЛЮВАННЯ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХОНЬ, ОТРИМАНИХ СВЕРДЛІННЯМ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Матошин О. В., Вислоух С. П.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, matoshyn.oleksandr@gmail.com

Високі конструкційні властивості полімерних композитних матеріалів, що армовані вуглецевим волокном, зробили їх найбільш використовуваними матеріалами, особливо в аерокосмічній промисловості. Основними характеристиками цих матеріалів є їх висока міцність, щільність і невелика маса. Завдяки цим властивостям попит на вуглепластикові деталі поширюється в інших галузях, таких як машино- та приладобудування [1].

Порівняно з іншими конструкційними матеріалами вуглепластики мають певні проблеми при їх механічному обробленні і, зокрема, при свердлінні. Проблеми оброблення цих композитів пов'язані з такими характеристиками матеріалу як неоднорідність, анізотропія, наявність високоабразивних та жорстко армованих волокон, поєднання жорстких абразивних волокон із м'якою матрицею. Це призводить до надмірного зносу інструменту, який викликає такі явища як розшарування та підвищену шорсткість отриманої поверхні.

Моделювання шорсткості поверхні вуглепластикових деталей є важливою задачею, що стала особливо актуальною в сучасній виробничій практиці. Від шорсткості поверхні залежить якість з'єднання деталей та міцність виробу в цілому.

У даній роботі для моделювання шорсткості деталей із вуглепластику запропоновано використовувати метод групового врахування аргументів (МГВА) [2]. Основні переваги МГВА полягають в тому, що він не вимагає завдання моделі в явному вигляді – модель конструюється сама в процесі роботи алгоритму методу. Індуктивний метод моделювання базується на принципі самоорганізації та потребує незначного об'єму початкової інформації. Для одержання коефіцієнтів математичної моделі індуктивний метод самоорганізації використовує метод найменших квадратів.

Початкові дані для моделювання шорсткості поверхні взято із роботи [1]. Для розв'язання даної задачі використано вуглепластик, що складається із 50 % вуглецевого волокна за вагою з орієнтацією 0/90. У якості матриці використана епоксидна смола. Композитний матеріал мав товщину 8±0,1 мм та складався із 32 шарів. Процес свердління виконувався на вертикально-фрезерному верстаті з ЧПК (SMG-300) із використанням твердосплавних свердл діаметром 5 мм. Кути при вершині свердл з твердого сплаву були 60, 100 і 140 градусів. При цьому режими обробки варіювались в таких межах: кількість обертів n – від 1250 до 4000 об/хв та подача S – від 50 до 800 мм/хв.

Обробка результатів експерименту виконувалась методом МГВА з використанням програми GMDH Shell DS, що дозволило отримати математичну залежність величини шорсткості поверхні Ra від кількості обертів свердла n, подачі S та кута при вершині свердла (*angle*): $Ra = f\,(n, S, angle)$, загальний вигляд якої наведено на рисунку.

```
Y1 = -0.000561384 + N100*0.0540395 + N9*0.946396

N9 = 0.00356609 - N279*0.0660254 + N53*1.06326
N53 = 0.0109371 + N360^2*0.0096579 + N68*0.977441
N68 = -0.0441836 + N351*1.11928 + N351*N120*0.591592 - N351^2*0.648935
N120 = 0.0497029 + N249*N266*10.6029 - N249^2*5.05547 + N266*0.946148 - N266^2*5.51461
N266 = -0.377474 + N285*N382*0.663708 + N382*1.64367 - N382^2*0.904846
N382 = 0.241122 + S*N391*0.000530123 + S^2*9.47492e-07 + N391*0.201519 + N391^2*0.157025
N391 = 1.28791
N285 = 0.690523 - n*N351*6.25816e-05 + N351^2*0.424809
N249 = 0.00491917 - "n, cubert"*N323*0.0372442 + N323*1.4927
N323 = 0.633881 + N349*N385*5.60453 - N349^2*2.42381 - N385^2*2.80043
N360 = 0.0147916 + N385*N389*0.7668
N389 = 1.41415 - n*angle*5.07019e-07
N385 = 1.77927 - "S, cubert"*0.45131 + "S, cubert"^2*0.050176
N279 = 0.00603112 - "n, cubert"*N326*0.0374681 + N326*1.4948
N326 = 0.567265 + N352^2*0.382438
N100 = 0.0187345 - N280*0.536472 + N132*1.52193
N132 = -0.0134139 + N248*0.409195 + N262*0.60122
N262 = -0.0102666 + N351*2.99146 - N351*N302*2.49072 - N302*1.85842 + N302^2*2.39193
N302 = 0.85152 - "n, cubert"^2*0.001404 + N350^2*0.367134
N350 = -0.962124 + S*0.00146582 + angle*0.03752 - angle^2*0.000189399
N351 = -14.7918 + S*0.00146582 + "angle, cubert"*6.9161 - "angle, cubert"^2*0.76187
N248 = 0.00491917 - "n, cubert"*N322*0.0372442 + N322*1.4927
N322 = 0.633881 + N349*N383*5.60453 - N349^2*2.42381 - N383^2*2.80043
N383 = 0.761119 + S*0.000682751 + S^2*9.47492e-07
N349 = -15.6757 - "S, cubert"*"angle, cubert"*0.0294185 + "S, cubert"^2*0.0252955 + "angle, cubert"*7.20619 - "angle, cubert"^2*0.772069
N280 = 0.838842 - "n, cubert"*N352*0.0342549 + N352^2*0.550389
N352 = -1.3298 + angle*0.0419395 - angle*"S, cubert"*0.000291673 - angle^2*0.000201874 + "S, cubert"^2*0.0170557
```

Рис. 1. Загальний вигляд математичної моделі, що отримана засобами МГВА

Для оцінки точності математичної моделі обрано 20 % даних із початкової вибірки. При цьому середнє квадратичне відхилення становить 0,0223 для навчальної вибірки та 0,0546 для тренувальної і, відповідно, коефіцієнт кореляції становить 0,9989 та 0,9905. Результати прогнозування наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Прогнозування шорсткості *Ra* поверхні деталей із вуглепластику

№ досліду	Дійсне значення	Прогнозоване значення	№ досліду	Дійсне значення	Прогнозоване значення
1	0,727	0,7391	14	1,135	1,1449
2	1,293	1,3199	15	2,142	2,1819
3	1,95	1,9402	16	0,923	0,9161
4	0,711	0,7111	17	1,078	1,0805
5	1,242	1,2527	18	1,998	1,9843
6	1,72	1,7181	19	0,741	0,7220
7	0,702	0,6906	20	1,336	1,2934
8	1,224	1,1894	21	1,717	1,7509
9	1,443	1,4317	22	0,74	0,7165
10	0,939	0,9531	23	1,183	1,2187
11	1,297	1,3125	24	1,604	1,5699
12	2,542	2,5224	25	0,685	0,7046
13	0,953	0,9396	26	1,144	1,1573

Таким чином, в результаті дослідження процесу свердління вуглепластику отримано залежність шорсткості поверхні отвору від режимів оброблення і кута загострення різального інструмента. Отриману математичну модель доцільно використовувати для прогнозування шорсткості поверхонь при свердлінні та як обмеження в загальній математичній моделі процесу оброблення деталей з композиційних матеріалів при розв’язанні задачі оптимізації.

1. Shahrajabian, H., Farahnakian, M. Modeling and multi-constrained optimization in drilling process of carbon fiber reinforced epoxy composite. Int. J. Precis. Eng. Manuf. 14, 1829–1837 (2013). https://doi.org/10.1007/s12541-013-0245-1.

2. Інформаційні технології в задачах технологічної підготовки приладо- та машинобудівного виробництва: моногр. / С. П. Вислоух. К.: НТУУ „КПІ”, 2011. 488 с.

УДК 004.056.53

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ КІНЦЕВИХ ТОЧОК НА ПРИКЛАДІ SYXSENSE ENDPOIN SECURITY

Гуцало А. С., Бунь В. П.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, atep@email.com, guas2002@gmail.com

Сучасний світ не стоїть на місці та постійно розвивається. Найактивніше у 21-му столітті розвивається сфера технологій, яка охоплює собою дуже багато нових відкриттів та витворів що захоплюють. Але, на жаль, з іншого боку медалі можна побачити також і зріст кіберзлочинності.

Сьогоднішній ландшафт загроз є більш непередбачуваним, ніж будь-коли, після COVID-19, подальшого переходу на віддалену та гібридну роботу, а також у зв'язку з тим, що кіберзлочинці використовують все більш витончені методи атак. Кількість атак на кінцеві точки зростає, а вартість витоку даних продовжує збільшуватися – з 3,86 млн доларів до 4,24 млн доларів у 2021 році, згідно зі звітом IBM про вартість витоку даних (Cost of a Data Breach Report) [1].

Захист кінцевих точок – це практика захисту даних і робочих процесів, пов'язаних з окремими пристроями, які підключаються до вашої мережі. Платформи захисту кінцевих точок (Endpoint Protection Platform) працюють, перевіряючи файли при вході в мережу [2]. Сучасні платформи захисту використовують потужне хмарне сховище для постійно ростучої бази даних, звільняючи кінцеві точки від потоку, пов'язаного зі зберіганням всієї цієї інформації на місці й обслуговуванням, необхідним для підтримки цих баз даних в актуальному стані. Доступ до цих даних у хмарі також забезпечує більшу швидкість і масштабованість.

Syxsense створила інноваційну та інтуїтивно зрозумілу технологію, яка бачить і знає все. Захистіть кожну кінцеву точку, в будь-якому місці, всюди в мережі і за її межами, а також в хмарі. Штучний інтелект (ШІ) допомагає командам безпеки прогнозувати і усувати загрози до того, як вони відбудуться, і швидко змусити їх зникнути, коли вони відбудуться.

Основні причини при виборі Syxsense Endpoint Security.

1. Комплексне виявлення вразливостей

Syxsense відстежує середовище і виявляє відсутні оновлення ОС і патчі сторонніх виробників, а також неправильні конфігурації безпеки, які можуть зробити ваші кінцеві точки відкритими для атак. Завдяки точному і своєчасному виявленню користувач точно знає, де і які пристрої представляють серйозний рівень ризику для організації, гарантуючи, що він можете націлити критичні оновлення на потрібні пристрої.

2. Syxscore

Інструмент оцінки безпеки надає актуальну інформацію про рейтинги серйозності та оцінки CVSS, обізнаність громадськості, контрзаходи та статус озброєності

щодо пристроїв у вашому середовищі, а також розбивку пристроїв, які є вразливими.

3. Усунення вразливостей безпеки

Допомагає виявити та усунути вразливості безпеки та неправильні конфігурації за допомогою єдиного агента з єдиного рішення. Дані в режимі реального часу про зміни поведінки і стану і інтелектуальна автоматизація робочих процесів забезпечують зв'язок між кінцевими точками і консоллю в режимі 24/7. З Syxsense пристрої є самосвідомими і самокерованими, і можуть автоматично ініціювати дії по усуненню несправностей. Не просто знаходьте загрози, а усувайте їх.

4. Безпечне рішення

Syxsense є хмарним рішенням і розміщується в Microsoft Azure для забезпечення безпечної передачі даних. Кожен клієнт має приватну базу даних, без змішування даних. Завдяки підтримці двофакторної автентифікації, IP обмежень, єдиного входу в систему, відстеження та сповіщення входу в систему, а також оповіщення про аномальні входи, гарантовано, що дані залишаються такими ж захищеними, як і кінцеві точки.

5. 100 % видимість

Видимість кожної кінцевої точки у середовищі, яка взаємодіє через мережу користувача. Syxsense виявляє настільні комп'ютери, ноутбуки, сервери, віртуальні машини, мобільні пристрої та пристрої IoT, незалежно від того, чи знаходяться вони на місці, в роумінгу, віддалено або в хмарі. Повна видимість кінцевих точок в реальному часі і детальна інформація про їх стан, безпеку і потенційні ризики.

6. Реагування в режимі реального часу

Скорочення часу між виявленням і усуненням загроз є невід'ємною частиною безпеки вашого середовища і вашої здатності уникати інцидентів, що завдають шкоди. За допомогою даних в режимі реального часу можливо локалізувати і усунути загрози відразу після їх виявлення – до того, як вони поширяться на решту мережі.

Підсумовуючи, захисту кінцевих точок з кожним роком приділяють все більше уваги. Захист кінцевих точок допомагає захисти дані та робочі процеси у мережі. Наразі є дуже багато компаній які пропонують різноманітні рішення по захисту кінцевих точок, тому кожен вид бізнесу зможе знайти ідеальне рішення для себе.

1. Вартість витоку даних. URL: Cost of a data breach 2022 | IBM (дата звернення 01.04.2023).

2. Захист кінцевих точок. URL: What is an endpoint?|Endpoint definition|Cloudflare (дата звернення 01.04.2023).

UDC 004.9

PROGRAM EVALUATION AND PREDICTION OF THE RISK OF FAILURE OF THE COMPONENTS OF A COMPLEX TECHNICAL SYSTEM

Vychuzhanin A.V.
National University "Odessa Polytechnic", 126.ist.onpu@gmail.com

The more complex the technical system, the more components it contains and the more complex the intersystem, interelement communications, the more difficult is the diagnostics, the process of analyzing and predicting its technical condition, and the more frequent failures, malfunctions, emergency and emergency situations during the operation of complex technical systems (CTS). The reliability of the CTS is assessed by the results of diagnosing the technical condition of the subsystems of the system components (parametric diagnostics). It can be reflected in the form of an assessment of the risk of failures, as well as the resulting assessment of the risk of failure of the entire system and its prediction.

In artificial intelligence, various models of knowledge representation are actively developing. Bayesian belief networks (BBN) are a promising mathematical tool that can be used, in relation to diagnostic tasks, to take into account both the causal relationship between the types of CTS technical condition and diagnostic features, and the arrival of new information in the form of statistical data or predictive estimates. The model of an intelligent system for assessing and predicting the risk of failures of CTS components in the form of a Bayesian belief network (BBN) can be written as:

$$< M, S, R, L >,$$

where: M – set of subsystems (elements) of the CTS; S – a set of intersystem (interelement) links of CTS; R – a set of diagnostic assessments of the risk of failures of subsystems (elements), intersystem (interelement) links of CTS; L – mapping of connections between the sets and, based on the CTS diagnostic model.

The construction and study of the BBN of the probability of loss of working capacity, assessments of the risk of failures of the CTS components was carried out using the GenNIe software product is a fully portable C++ class library that implements graphical decision theory methods such as the Bayesian network. jobs and impact diagrams that are directly amenable to inclusion in intelligent systems. The use of the GenNIe environment makes it possible to carry out dynamic diagnostics of each element of the CTS (Fig. 1). Perform a regression analysis of the influence of each parent element of the network on its corresponding child element. Implement a graphical display of the results of predicting the risk assessment of failures of elements of CTS subsystems. Calculate the value of the probability of loss of performance, damage and risk assessments of failures of CTS components. When conducting research, a ship power plant was chosen as the object of study (Fig. 2.).

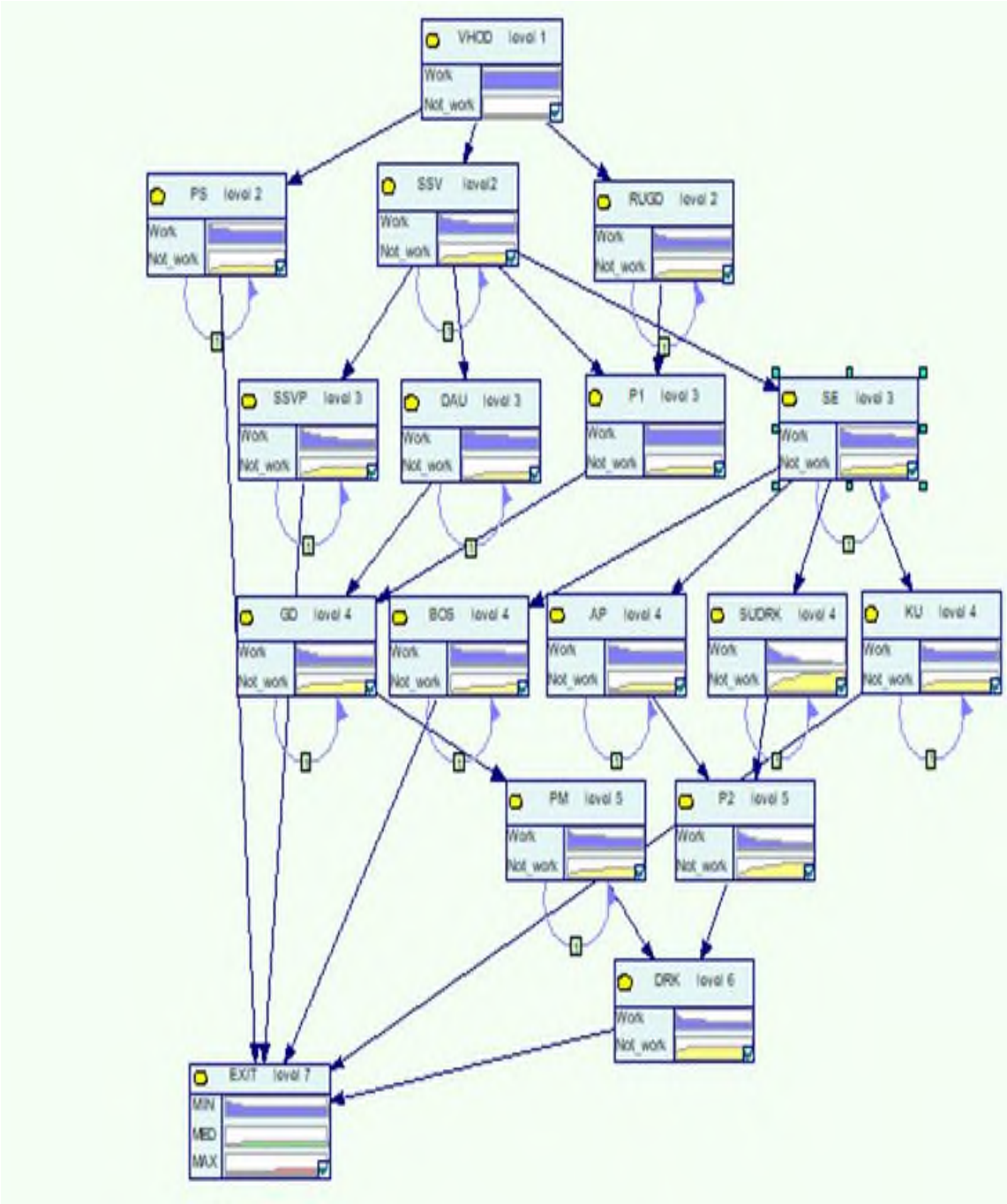


Fig.1. BBN power plant compressed air systems

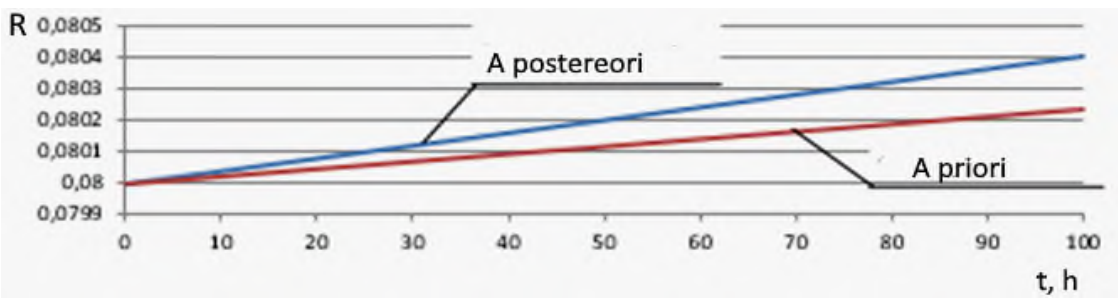


Fig.2. A posteriori and a priori estimates of the risk of failure power plant compressed air systems

The results of studies of the model for assessing and predicting the risk of failures of components of a complex technical system made it possible to predict the values of the risk of failures of CTS components using the example of a ship power plant.

УДК 620.179.18 : 621.643.8534: 681.2.

АДАПТАЦІЯ ПРИЛАДІВ ПОШУКУ ВИТОКІВ ДО РОБОТИ НА ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВОДАХ З ВИСОКИМ ЗАГАЛЬНИМ ЗНОСОМ

Владимирський О. А., Владимирський І. А., Криворучко І. П., Анфімова Г. В.
ІПМЕ ім. Г. Є. Пухова НАН України, av1000000@ukr.net

Для пошуку витоків у підземних напірних трубопроводах найбільш широко застосовуються так звані акустичні (АТ) та кореляційні (КТ) течешукачі. АТ застосовуються в основному для визначення місця витоку за рівнем акустичного фону в ґрунті над трубопроводом. КТ використовують шляхом встановлення вібродатчиків на трубопровід у теплових камерах, колодязях по обидва боки від витоку, відстань до якого від одного з датчиків визначають за сплеском взаємної кореляційної функції (ВКФ) сигналів від датчиків.

У багатьох містах України та зарубіжжя понад 50% підземних трубопроводів водо- та теплопостачання експлуатуються понад регламентні терміни експлуатації. Значне зношування основної частини мереж призводить до частих витоків, тому щоденні роботи з їх пошуку та усунення стали необхідною частиною робіт з водо- та теплопостачання городян. При цьому, зношування трубопровідних мереж призводить не тільки до їх частих поривів, але і створює проблеми з їх пошуком. Труднощі виникають при визначенні неявно пошкоджених ділянок через знос запірної арматури, при визначенні координат витоків – через завадові шуми в засувках, знос повітряників, через акустичну неоднорідність трубопроводів внаслідок численних ремонтів, через відмінність фактичної швидкості інформативних сигналів від заданої у КТ внаслідок корозійного стоншення стінок трубопроводів тощо. Зношування призводить до великих витоків при проведенні гідравлічних випробувань мереж на щільність, через що виникають проблеми зі створенням високого тиску в пошкодженій ділянці та з достовірним визначенням місць пошкодження за допомогою АТ та КТ за слабкими акустичними сигналами витоків. Аналогічні проблеми з тиском можуть виникати через пошкодження війною джерел тепло та водопостачання.

Таким чином, знос основної частини міських мереж водо і теплопостачання пред'являє особливі вимоги до технології пошуку витоків і до приладів, що застосовуються. З метою їхньої адаптації до різноманітних міських умов, в ІПМЕ ім. Г.Е.Пухова НАН України розроблено термо-акустичний течешукач А-10Т3 та кореляційний течешукач К-10.5М2.

Течешукач А-10Т3, стосовно технології пошуку витоків, є багатофункціональним приладом з поєднанням функцій: пошуку витоків по грунту над трубопроводом за акустичною та тепловою ознаками [1]; визначення пошкодженої ділянки трубопроводу шляхом коректних акустичних вимірювань в місцях доступу на трубопроводі; визначення джерела домінуючих акустичних шумів на трубопроводі для безпомилкового використання кореляційних течешукачів шляхом коректного виміру та порівняння рівнів сигналів у обмеженому просторі теплових камер та колодязів.

У течешукачі К-10.5М2 реалізовано ефективний у складних випадках [2,3], параметричний кореляційний метод пошуку витоків на основі узгодженої параметричної просторово-частотної селекції інформативних сигналів. Координата витоку знаходиться за допомогою аналізатора dt ВКФ [2-4], у поєднанні з визначенням 2-4 оцінок ВКФ, отриманих зі зсувом датчиків у місцях доступу до трубопроводу на 0,5-3 м.. При цьому відбувається ефективний, сумісний, просторовий та частотний пошук в доступних до реєстрації сигналах корисних шумів від витоків за їхньою кореляцією. Розпізнавання цієї кореляції ведеться за наявністю координатних поличок у частотному спектрі координат.

Координатні полички є дуже зручним експрес-індикатором чутливості оцінки ВКФ до наявності або відсутності у її структурі інформативної кореляції. Це також має першорядне значення для реєстрації появи дефекту на ранній стадії, коли він ще не розвинулася у велике пошкодження [4]. Відпрацьованими є визначення координат витоків в умовах складної хвильової структури акустичних сигналів [2] та малого відношення сигнал-завада [3]. Зараз прилад доповнюється врахуванням інших актуальних ускладнень.

1. Владимирський О.А., Владимирський І.А., Криворучко І.П. Використання комбінованих вимірювань у течешукачах А-20Т та А-10Т при пошуку витоків трубопроводів теплових мереж. XXXIX науково-технічна конференція молодих вчених та спеціалістів інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. Збірник тез конференції. Київ. 12 травня 2021р. С 48-49.

2. Патент на корисну модель № 144444. Параметричний кореляційний спосіб визначення координат витоків трубопроводів. Публікація відомостей 25.09.2020, Бюл. № 18. Владимирський О. А., Владимирський І. А.

3. Патент на корисну модель №149956. Параметричний кореляційний спосіб визначення координат пошкоджень трубопроводів. Публікація відомостей 15.12.2021р, Бюл. № 50. Владимирський О. А., Владимирський І. А.

4. A. Vladimirsky, I. Vladimirsky, O. Dybach. Parametric Analysis of Correlation Functions for Acoustic Monitoring and Assessment of Underground Piping at NPPs. *Nuclear and Radiation Safety*. 2022. No. 3(95). pp. 64–70.

УДК 66.083

МОДЕЛЮВАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ МЕТАНОЛУ

Чечельницький М. Б., Квітка О. О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, kolyachechelnitskiy@gmail.com

У роботі розглянуто процес отримання метанолу. Метиловий спирт (CH_3OH) є одним з найважливіших за значенням та масштабами виробництва органічним продуктом, що випускається хімічною промисловістю. Він є сировиною для отримання таких продуктів, як формальдегід (близько 50 % від всього метанолу), синтетичний каучук (11 %), метиламін (9 %), а також диметилтерефталат, метилматакрилат, пентаеритрит, уротропін тощо.

Для процесу синтезу метанолу необхідна газова суміш – свіжий газ із певним співвідношенням компонентів: водню, окису вуглецю та двоокису вуглецю*. Вона готується шляхом змішування синтез-газу з двоокисом вуглецю та азотоводневою сумішшю. Метиловий спирт утворюється за реакцією:

$$\mathrm{CO} + 2\mathrm{H}_2 \leftrightarrow \mathrm{CH}_3\mathrm{OH},$$
$$\Delta H = -26{,}5 \text{ ккал.}$$

Як об’єкту моделювання було обрано холодильник-конденсатор, в якому відбувається охолодження контактних газів з колони синтезу та конденсація парів метанолу. Оскільки витрата газової суміші відноситься до системи керування попереднім апаратом, в якості єдиного вихідного параметру будемо розглядати температуру охолодженої газової суміші. Керувальним параметром є витрата води. Отже розглянемо контур керування температури охолодженої газової суміші за допомогою регулювання витрати води (рис. 1).

Як видно зі структурно-параметричної схеми (рис. 2) на температури охолодженої газової суміші та відпрацьованої води впливають їх витрати, вхідні температури та тепловіддача в довкілля.

Складемо тепловий баланс для холодильника виходячи з його структурно-параметричної схеми:

$$G_c c_c \theta_{c.вх} + G_в c_в \theta_{в.вх} = G_c c_{c.вих} \theta_{c.вих} + G_к r_к + G_в c_в \theta_{в.вих},$$

де G_c, $G_в$, $G_к$ – витрати газової суміші, води та конденсату відповідно; c_c, $c_в$ – питомі теплоємності газової суміші та води відповідно; $r_к$ – питома теплота конденсації спирту (конденсат); θ – відповідні температури (індекси «*вх.*» та «*вих.*» відповідають вхідним та вихідним потокам).

Рівняння статики для каналу «витрата води – температура охолодженої газової

* Мельник С. Р., Мельник Ю. Р., Піх З. Г. Проектування та розрахунок технологічних процесів органічного синтезу: навч. посібник. Львів: Львівська політехніка, 2006. 448 с.

суміші» має вигляд:

$$\theta_{c.вих} = \frac{G_c c_c \theta_{c.вх} + G_в c_в \theta_{в.вх} - G_к r_к - G_в c_в \theta_{в.вих}}{G_c c_{c.вих}}.$$

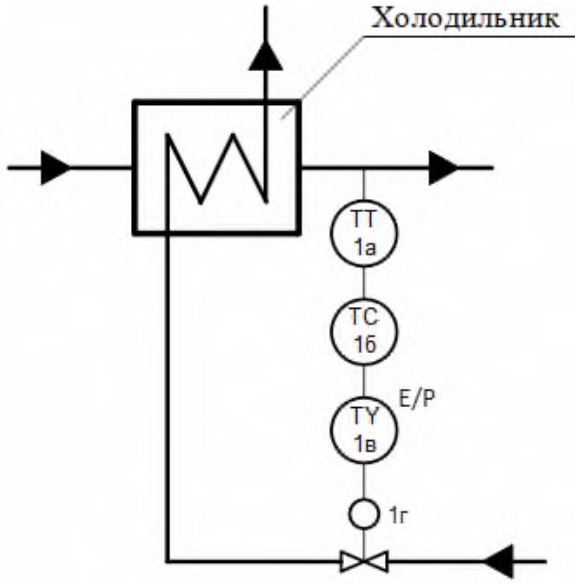


Рис. 1. Холодильник-конденсатор на схемі автоматизації

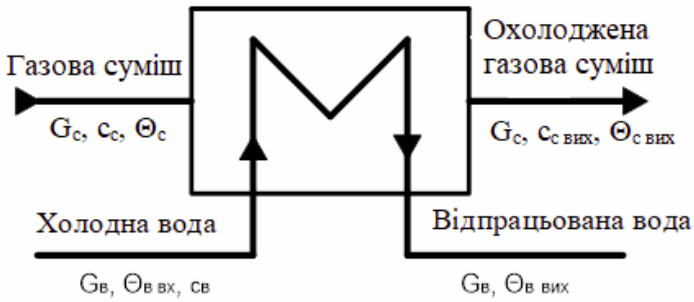


Рис. 2. Структурно параметрична схема холодильника-конденсатора

Згідно даних виробництва: G_c =0,93 кг/с; c_c =2,97 кДж/(кг·К); $\Theta_{c.вх.}$ =353 К; $\Theta_{в.вх}$ =283 К; $\Theta_{в.вих}$ =303 К; $c_в$ =4,183 кДж/(кг·К); $c_{c.вих}$ = 2,34 кДж/(кг·К); $G_к$ =0,19 кг/с; $r_к$ =1100 кДж/кг.

Таким чином отримаємо залежність вихідної температури охолодженої газової суміші від витрати води на вході до теплообмінника.

$$\theta_{c.вих} = 352 - 76{,}89 G_в .$$

Статичну характеристику каналу керування $\Theta_{c.вих} = f(G_в)$ наведено на рис. 3. Слід зазначити, що значення температури на виході приводиться в кельвінах. Зменшення витрати води, при зафіксованій витраті газової суміші, збільшує температуру на виході, оскільки апарату не достатньо води на охолодження.

Рівняння динаміки для холодильника має вигляд:

$$G_c c_c \theta_{c.вх} + G_в c_в \theta_{в.вх} - G_c c_{c.вих} \theta_{c.вих} - G_к r_к + G_в c_в \theta_{в.вих} = c_{c.вих} V \rho \frac{d\theta_{c.вих}}{dt}.$$

де V – об'єм газової суміші, що проходить через конденсатор за визначений проміжок часу; V = 0,63 м^3; ρ – густина газової суміші; ρ = 0,54 кг/м^3.

Після лінеарізації та перетворення за Лапласом рівняння динаміки набуває вигляду:

$$G_c c_c \theta_{c.вх} + G_в(p) c_в \theta_{в.вх} - G_c c_{c.вих} \theta_{c.вих}(p) - G_к r_к + G_в(p) c_в \theta_{в.вих} = c_{c.вих} V \rho \frac{\theta_{c.вих}(p)}{p}.$$

Передавальна функція за каналом «витрата води – температура газової суміші» має вигляд:

$$W_{G_в - \theta_{c.вих}}(p) = \frac{(c_в \theta_{в.вх} - c_в \theta_{в.вих}) p}{G_c c_{c.вих} p + c_{c.вих} V \rho}$$

або:

$$W_{G_в - \theta_{c.вих}}(p) = \frac{-38{,}38 p}{p + 0{,}37}.$$

Динамічну характеристику каналу керування «витрата води – температура газової суміші» наведена но рис. 4.

Рис. 3 – Статична характеристика холодильника за каналом керування

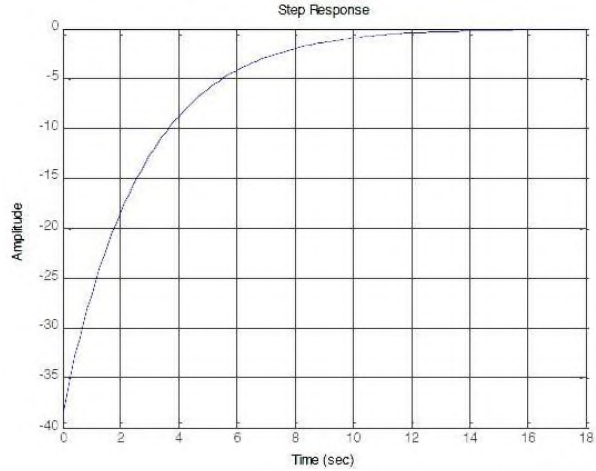


Рис. 4 – Динамічна характеристика холодильника за каналом керування

Отже, отримана передавальна функція холодильника є аперіодичну ланкою першого порядку.

УДК 621.5

ПНЕВМО-ОПТИЧНИЙ ГЕНЕРАТОР ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Сташкевич П. М., Лукінюк М. В., Лук'янов Д. О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, p.stashkevych@kpi.ua

Електрична енергія є одним із основних видів енергії, необхідної для існування суспільства. Тому її виробництво, особливо в умовах обмеженого доступу до вуглецево-водневих сировинних джерел, є надзвичайно актуальним. Існують приклади екологічно-чистого виробництва електричної енергії, які використовуються в зеленій енергетиці, наприклад, сонячних панелей та вітрових електростанцій. У цій роботі пропонується ще один екологічно чистий метод отримання електричної енергії, побудований на використанні пневмо-оптичного генератора. Схему установки, яка дозволяє реалізувати цей метод, показано на рисунку.

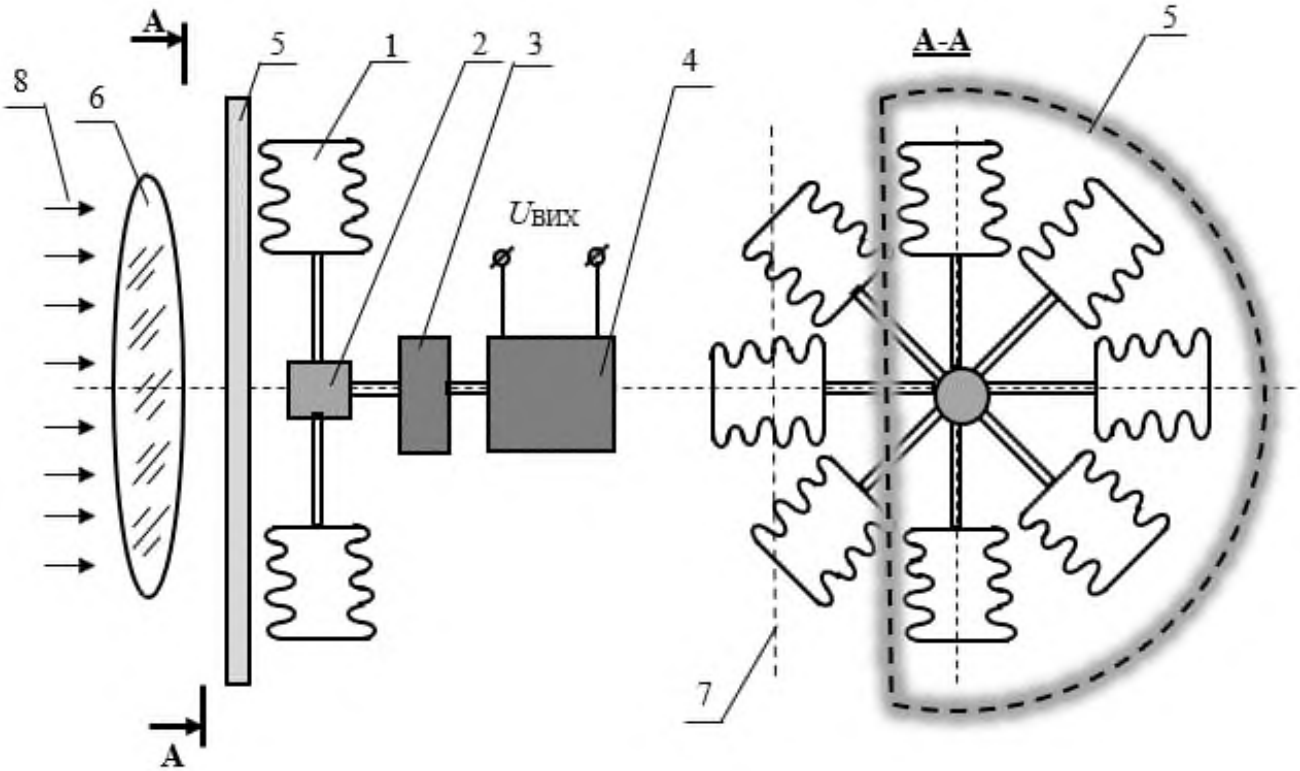


Схема установки пневмо-оптичного генератора електричної енергії:
1 – сильфонний перетворювач; 2 – муфта кріплення сильфонних перетворювачів;
3 – редуктор; 4 – генератор; 5 – екран; 6 – лінза; 7 – центр зміщення лінзи;
8 – світловий потік

Установка працює таким чином. Світловий потік, проходячи крізь лінзу, фокусується на сильфонному [1, 2] перетворювачі. Внаслідок цього сильфон 1 нагрівається, що, згідно законів фізики ($p = nkT$, де p – тиск у сильфоні, n – кількість молекул газу, k – стала Больцмана, T – абсолютна температура), викликає збільшення тиску у замкненому просторі. Це викликає розтягування сильфону

та зміну його розмірів. Внаслідок цього збільшується радіус моменту обертання цього сильфона, рівновага моментів сильфонів порушується і сильфони, які закріплені на муфті 2, починають обертатися, приводячи в рух через редуктор 3 генератор напруги 4.

Для ефективної роботи установки половина сильфонів має екрануватись за допомогою екрану 5, тоді світловий потік 8, який проходить через лінзу 6, буде спрямовуватися тільки на ту половину сильфонів, які, нагріваючись, створюють момент обертання, а лінза 6 має встановлюватись зі зміщенням так, щоб світловий потік надходив саме на ці сильфони. Бажано, щоб друга половина сильфонів, на яку не падає сонячне проміння, розташовувалася у прохолодному місці.

Також підвищить ефективність роботи закріплення на дні сильфонів, які подовжуються, деякі невеликі вантажі. Сильфони мають бути з невеликим коефіцієнтом жорсткості.

1. Ибрагимов И. А., Фарзане Н. Г., Илясов Л. В. Элементы и системы пневмоавтоматики : учебник для вузов по спец. «Автоматизация и комплексная механизация хим.-технол. процессов». 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1985. 544 с.: ил.

2.Технічні засоби автоматизації. Математичні операції на пневматичних елементах та їх використання в системи керування [Електронне мережеве навчальне видання]: Навчальний посібник до вивчення курсу «Електричні та пневматичні системи керування» для студентів, що навчаються за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: П. М. Сташкевич, М. В. Лукінюк. Електронні текстові дані (1 файл: 4,529 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 319 с. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 10 від 20 червня 2019 р.).

УДК 621.865.8

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОСТОРОВОГО ПОЛОЖЕННЯ КІНЦІВОК КРОКУЮЧОГО МОБІЛЬНОГО РОБОТА

Хазанович Ю. Ю., Черепанська І. Ю.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, ykVaderii@gmail.com

На сьогодні сучасний парк мобільних роботів (МР) є досить різноманітним [1, 2, 3]. Аналізуючи принципи побудови та функціонування МР, можна констатувати факт, що всі вони мають різні функціональні можливості, швидкодію, точність орієнтування і позиціонування, але формалізація їх просторової динаміки ґрунтується на традиційних підходах із застосуванням складних математичних моделей динаміки та кінематики. Зокрема моделі Денавіта-Хартенберга, наприклад, у статті [1], та матричних метод, наприклад, у статті [2]. Кожен із цих методів та моделей мають такі суттєві недоліки, як складний математичний апарат, складність автоматизації та програмування, а також громіздкість представлення.

Альтернативою вказаним методам є пропонований метод трикутників [3], який ґрунтується на проективній геометрії та передбачає використання графічного методу і побудову кінцевої множини відповідних геометричних примітивів для кожного зчленування кінцівки крокуючого МР.

Знаходження положення кінцівок, наприклад, абстрактної моделі шестиногого крокуючого МР з однаковою конструкцією тришарнірних кінцівок та тулубом у формі правильного шестикутника (рис. 1), передбачає знаходження положення кінцівки відносно геометричного центру мас *O* тіла МР.

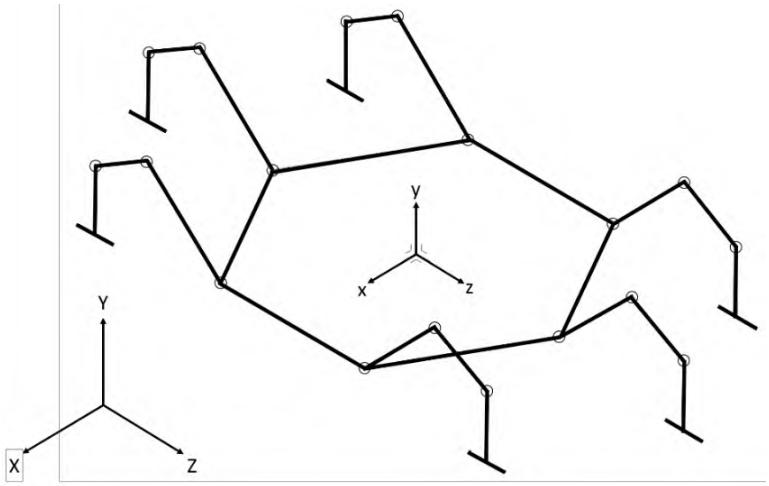


Рис. 1. Схематичне зображення абстрактної моделі шестиногого крокуючого МР [3]

Для цього здійснюється поетапна побудова множини трикутників всіх зчленувань кінцівки на площині *YOZ* (рис. 2), яка утворена відповідними осями локальної декартової системи координат *x, y, z*, що прив'язана до геометричного центру мас *O* тіла крокуючого МР (рис. 1) відносно абсолютної декартової системи координат *X, Y, Z*. Так будуються проекції зчленувань шарнірної кінцівки МР на площину *XOZ* (рис. 1). У кінцевому результаті отримується просторове положення всіх зчленувань кінцівки МР (рис. 3).

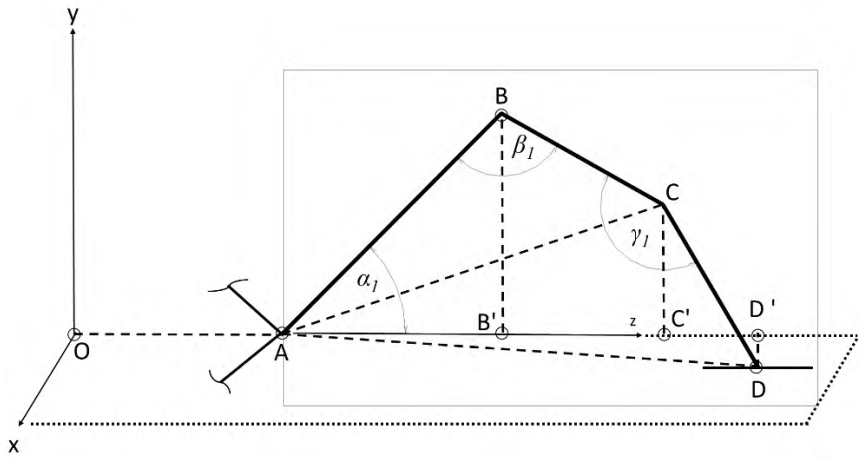


Рис. 2. Проекції зчленувань кінцівки абстрактної моделі крокуючого МР на площину *YOZ* [3]

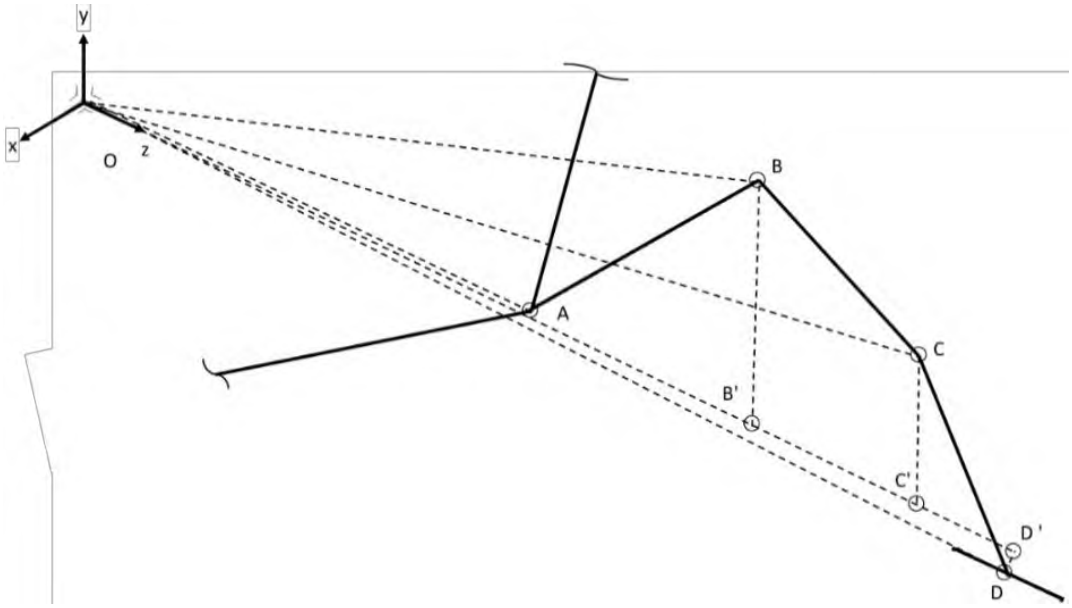


Рис. 3. Схематичне зображення відстаней між геометричним центром мас *O* та шарнірними зчленуваннями кінцівки МР у просторі: *OB* – відстань між геометричним центром мас *O* та шарнірним зчленуванням стегна; *OC* – відстань між геометричним центром мас та шарнірним зчленуванням гомілки; *OD* – відстань між геометричним центром мас та шарнірним зчленуванням лапки (стопи) [3]

Порівняна простота пропонованого методу, а також менша кількість необхідних обчислень, їх відносно легка автоматизація та наочність представлення переміщень кінцівок крокуючого МР є очевидними перевагами пропонованого методу у порівнянні із традиційними.

1. Zihao Yang, MinghaiYuan, Xinhui Shi, Zenan Yang and Mengyuan Li, Mechanism Design and Kinematics Analysis of Spider-like Octopod Robot, IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1314 (2019) 012109 DOI:10.1088/1742-6596/1314/1/012109.

2. Maria Camila Rojas Suárez, Santiago Noriega Álvarez, Bio-Inspired Quadruped Robot For Detection Carbon Dioxide In The Air, URL: https://clawar.org/wp-content/uploads/2020/08/CLAWAR_2018_paper_21.pdf.

3. Хазанович Ю. Ю., Киричук Ю. В., Черепанська І. Ю. Метод визначення положення кінцівок крокуючого мобільного роботу у просторі. Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 34 (73) № 1, 2023. с. 136-143. DOI: https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.1/21.

УДК 57.087.2

КЕРУВАННЯ ПОТОКОМ ПОВІТРЯ В АПАРАТАХ ШТУЧНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ ЛЕГЕНЬ

Юхименко Ю. А., Стельмах Н. В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, yuhim01@gmail.com

Дослідження та контроль потоку повітря всередині апарату ШВЛ (штучної вентиляції легень) може бути складним та тривалим процесом. Для успішного дослідження необхідно забезпечити повторюваність результатів, а також досягнути їх передбачуваності. При попередніх вимірюваннях потоку повітря в апаратах ШВЛ ЮВЕНТ-Т були зафіксовані відхилення при вимірюванні однакових потоків повітря в однакових умовах, що було забезпечено модернізацію глушників вентиляційних каналів [1]. Для дослідження ефективності запропонованих рішень було розроблено методику поетапних вимірювань та розроблено спеціальну програму для керування апаратом ШВЛ реалізовану в пакеті прикладних програм для числового аналізу Mathlab. В подальшому отриманні дані записувалися для аналізу результатів вимірювань.

Суть запропонованої методики полягає в наступному. На першому етапі необхідно провести перевірити шумів потоку повітря. Для цього з певним кроком протягом певного часу поступово відкривався клапан подачі повітря, а також фіксувались дані з датчика потоку. Оскільки є різні датчики потоку – тест необхідно було повторювати використовуючи датчик типу TSI, а також датчик типу Sensirion для того, щоб виключити можливий вплив похибки датчика на результати вимірювання.

Наступний етап полягає у вимірюванні акустичного шуму тракту з різними прототипами глушників за допомогою мікрофону.

Для обробки сигналів, а також їх візуалізації було створено програму в пакеті прикладних програм Matlab, оскільки бібліотека для зчитування даних з ШВЛ сумісна з цією системою для числового аналізу.

Для математичної обробки отриманих в результаті дослідження вимірювань було прийнято рішення представити та візуалізувати для порівняння інтеграл абсолютної похибки вимірювання потоку в діапазоні 0-100 л/хв (з кроком збільшення потоку 0,5 л/хв щосекунди) рис. 1, інтеграл потужності шуму потоку, інтеграл потужності акустичного шуму на частотах 500 – 20000 Гц на потоці 100 л/хв рис.2, а також максимальну абсолютну похибку вимірювання потоку в бік заниження та підвищення значень [2].

Всі досліджувані зразки показали схожі кількісні характеристики, як по звуковим шумам в пневмотракті O2 (кисню), так і вплив на точність вимірювання потоку датчиками TSI та Sensirion: всі глушники приблизно однаково зменшували звукові ефекти і збільшували точність вимірювання у порівнянні із станом без глушника [3]. Тим більше, згідно з представленими далі даними, можна виділити найкращі характеристики у глушника з умовним позначенням.

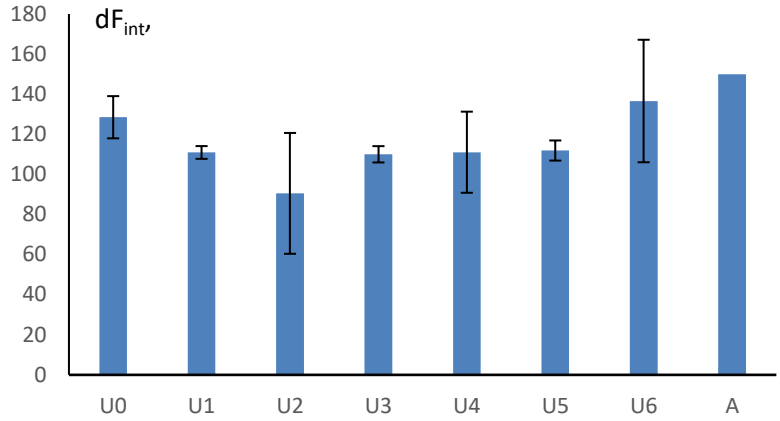


Рис. 1. Інтеграл абсолютної похибки вимірювання потоку в діапазоні 0-100 л/мин

$$dF_{int} = \int_0^{100} |\Delta F| df \ ,$$

де df – приріст потоку контрольного датчику; ΔF – абсолютна похибка вимірювання потоку

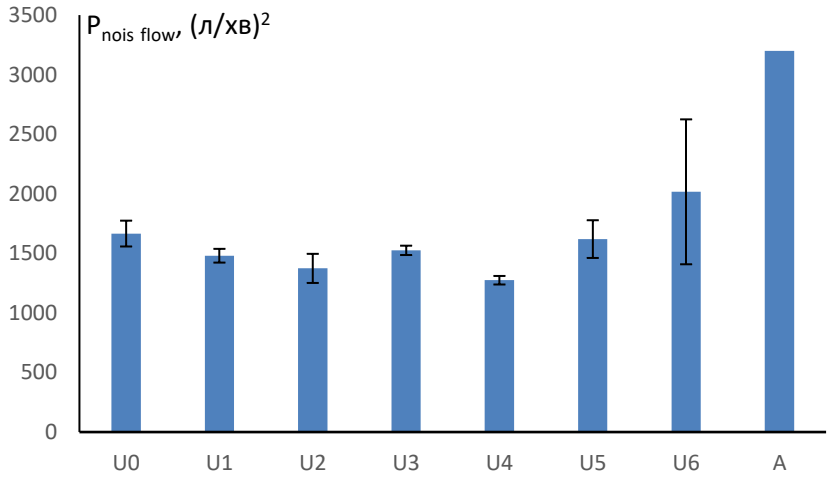


Рис. 2. Інтеграл потужності шуму потоку (95 % потужності сконцентровано в діапазоні 0–100 Гц) [3]

На підставі аналізу результатів вимірювань, які були проведені згідно запропонованої методики, можна зробити висновок про ефективність конкретної моделі глушника. Також можна відзначити високу ефективність та комплексність розробленої методики, яка дозволила визначити найефективнішу модель глушника за декількома параметрами.

1. Y.A. Yukhymenko, N. V. Stelmakh. Simulation of air flow in vent channels of medical equipment. // XVII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», 07-08 грудня 2021 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна, С. 330-333.

2. Paur, Hanns-Rudolf, et al. "In-vitro cell exposure studies for the assessment of nanoparticle toxicity in the lung -A dialog between aerosol science and biology." Journal of aerosol science 42.10 (2011): 668-692.

3. Юхименко Ю.А., Терещенко М.Ф., Стельмах Н.В. Глушник шуму вентиляційного каналу. Пат. на корис. модел. № 150517 Україна, від 24.02.2022.

УДК 681.5.01

ОПТИМІЗАЦІЯ ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ БІЗНЕС-ЦЕНТРУ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ АДАПТАЦІЇ ТА ІНТЕГРАЦІЇ СИСТЕМИ РЕКУПЕРАЦІЇ ТЕПЛА

Сущенко Д. О., Бунь В. П.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, wotukr12@gmail.com

Бізнес-центри є актуальними в сучасному світі та займають важливе місце у сучасному бізнесі. Їх функціональні можливості дозволяють забезпечити офісні приміщення всіма необхідними умовами для роботи, зокрема комфортними умовами для роботи, з використанням сучасної техніки, зручними місцями для зустрічей і переговорів, а також можливістю скористатися різноманітними послугами.

Оскільки охолодження будь-якого приміщення є досить тривалим, оптимізація перехідного процесу принесе дуже багато переваг, такі як:

1. Покращення якості роботи системи: за допомогою методу адаптації можна забезпечити більш точне та швидке регулювання процесу холодопостачання, що дозволить досягти кращої якості роботи системи та знизити ризик виникнення аварійних ситуацій;

2. Зниження витрат на енергію: оптимізоване регулювання процесу холодопостачання дозволяє знизити витрати на енергію та забезпечити ефективність використання енергетичних ресурсів;

3. Підвищення комфорту працівників та клієнтів: за допомогою методу адаптації можна забезпечити більш комфортні умови в приміщенні, що позитивно позначиться на здоров'ї працівників та підвищить рівень задоволеності клієнтів;

4. Підвищення екологічної безпеки: за допомогою методу адаптації можна зменшити негативний вплив на довкілля, знизити викиди шкідливих речовин та скоротити кількість відходів.

Основною перевагою методу адаптації над іншими є те, що він є більш гнучким та пристосованим до змінних умов, а це саме те, що потрібно в даному випадку, оскільки кожен день кліматичні умови змінюються і відповідно навантаження на систему теж. Метод адаптації дозволяє забезпечити оптимальну роботу системи холодопостачання при різних навантаженнях та під час різних часових періодів.

Розглянемо алгоритм адаптивного ПІД-регулятора*:

$$u = k_p\left(e(t) + k_u\int e(t)dt + T_d\frac{de(t)}{dt}\right) \quad (1)$$

де, $e(t)$ – сигнал неузгодженості, k_p – загальний коефіцієнт передачі регулятора, $k_u = \frac{1}{T_u}$ – коефіцієнт обернено пропорційний часу інтегрування T_u, T_d – стала часу диференціювання.

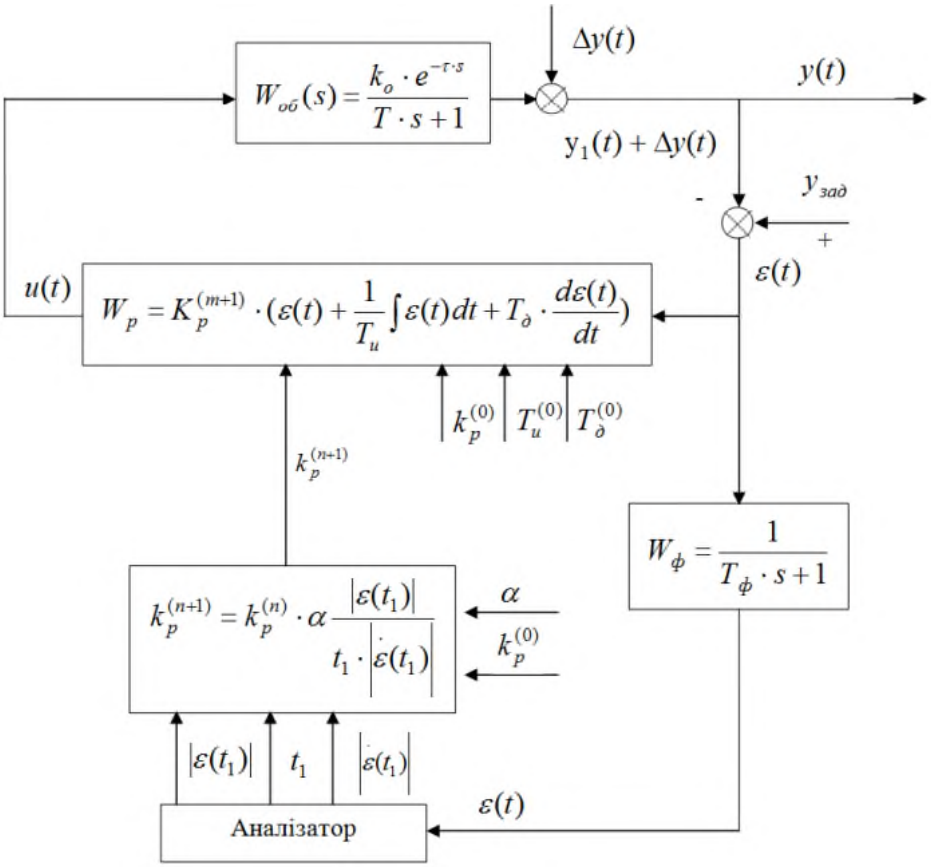
* Мовчан А. П., Степанець О. В. Адаптивні та параметрично-оптимальні системи управління : навч. посіб. К. : НТУУ «КПІ», 2011. 108 с.

Запропоновано алгоритм адаптації K_p такого вигляду

$$K_p^{n+1} = \alpha K_p^n \frac{|\varepsilon(t_1)|}{t_1 * max||\varepsilon(t_1)||}, \qquad (2)$$

де K_p^n – значення загального коефіцієнта підсилення регулятора перед адаптацією; K_p^{n+1} – нове значення загального коефіцієнта підсилення регулятора; $\varepsilon(t_1)$ – сигнал неузгодженості; t_1 – момент досягнення максимуму модуля сигналу неузгодженості; n – номер кроку адаптації. Коефіцієнт вибирається з ряду $\alpha = 1 \ldots 1{,}8$. У такому разі величина $t_1||\varepsilon(t_1)||$ залежить від $K_p = K_p(k_o)$

Структурне схеме адаптивного ПІД регулятора (АПІД-регулятор) зображенj на рисунку.



Структурна схема АПІД-регулятора

У середині аналізатора реалізується такий алгоритм:

$$|\varepsilon(t_1)| = max\ \varepsilon(t),$$

$$t_1 = t, \text{при } \varepsilon(t) = max\ \varepsilon(t),$$

$$\varepsilon(t_1) = \varepsilon(t), \text{при } t = t_1,$$

$k_p^{(0)}, T_u^{(0)}, T_d^{(0)} = k_d T_u^{(0)}$, визначаються за апріорними даними про об'єкт на підставі інженерних формул розрахунку налаштувань.

Фільтр $W_\phi(s)$ вводиться для того, щоб гарантовано забезпечити $m \geq 2$, а також зменшити вплив шумів.

УДК 004.75

ЗАСТОСУВАННЯ ІГРОВИХ МЕХАНІЗМІВ ДЛЯ РОЗРОБКИ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ

Новіков П. В., Бунке О. С., Федчук В. О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, p.novikov@kpi.ua

Концепція цифрового двійника не нова – її вперше представив у 2002 році Грівз [1]. Останніми роками ця технологія набула величезної популярності з появою штучного інтелекту, машинного навчання та великих даних. Цифровий двійник може симулювати будь-який об'єкт, наприклад, вітрові електростанції, реактивні двигуни та навіть цілі міста. У квітні 2022 року Amazon запустив IoT Twinmaker [2], який дозволить компаніям створювати цифрових двійників своїх фізичних активів і оновлювати їх у реальному світі. Прогнозується, що технологія цифрового двійника має досягти приблизно 48,2 мільярда доларів США з 3,1 мільярда доларів у 2020 році в усіх галузях [3].

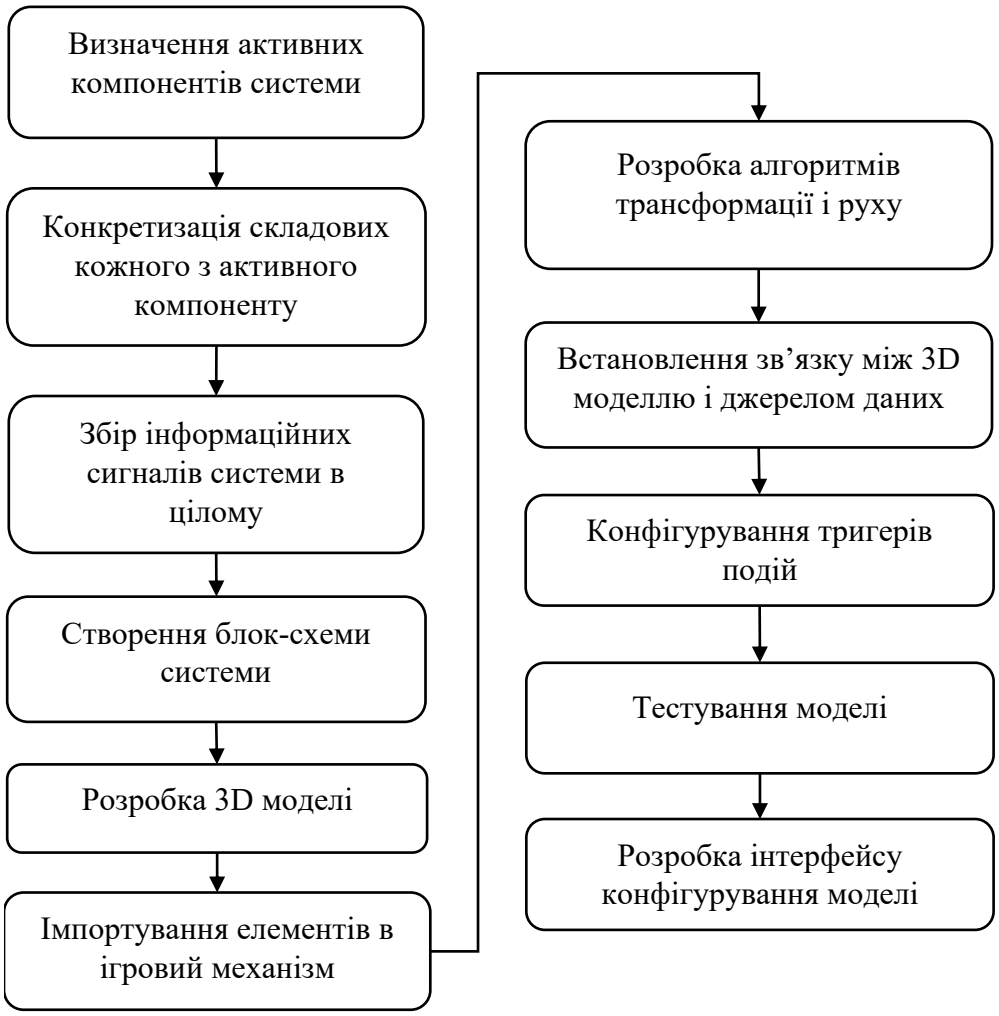
На думку Бред Харта, технічного директора Version Control у Perforce Software, ігрові технології можуть стати ключем для компаній, які використовують технологію цифрових двійників [3].

Ігрові механізми Unreal Engine від Epic і Engine від Unity – дві ключові ігрові технології, які використовуються сьогодні. Ігрові механізми з цифровими двійниками можна розгортати на будь-якому рівні: від дизайнерів, художників та інженерів-механіків або інженерів інфраструктури до керівників проєктів і маркетингових команд. Audi використовує цифрові двійники, що підтримуються ігровими механізмами, щоб демонструвати нові автомобілі клієнтам і керівникам компаній [3].

У будь-якому виробничому процесі фізичного проектування існує ряд етапів тестування для моделювання впливу та умов реального світу. Але ці кроки забирають багато часу та дорогі, тому поєднання технології ігрового механізму з технологією цифрового двійника дає змогу проводити віртуальне тестування поза межами фізичного середовища. Реалістичні цифрові двійники, які використовують ігрові технології, значно скорочують цикл виробництва.

Ігровий механізм обробляє безперервний потік вхідних даних і відповідно маніпулює своєю внутрішньою моделлю та візуальними компонентами. Ця маніпуляція викликає зміну стану, яка відображається як візуальна відповідь у формі анімованої графіки.

В роботі [4] автори спробували систематизувати процес розробки цифрового двійника. Отримана діаграма з 11 кроків наведена на рисунку нижче. Запропонований каркас розглядає використання трьох програм, Blender, як середовище 3D моделювання, Visual Studio, як середовище розробки програмного коду, та Unity, як ігровий механізм. Запропонована структура є концептуальною моделлю, і буде вдосконалюватися та адаптуватися в майбутньому.



Послідовність розробки цифрового двійника

Таким чином, сучасні ігрові механізми надають функції, які є привабливими для програм, відмінних від комп'ютерних ігор. Розвиток фотореалістичної графіки, світла, рідини та фізичних механізмів робить їх корисними для інженерних задач.

1. Grieves, M. Origins of the Digital Twin Concept. 2016. [Electronic resource] Available online: https://www.researchgate.net/publication/307509727_Origins_of_the_Digital_Twin_Concept (accessed on 02 April 2023). DOI: 10.13140/RG.2.2.26367.61609.

2. Amazon launches AWS IoT TwinMaker to bring digital twins into the mainstream. Siliconangle. 2022. [Electronic resource] Available online: https://siliconangle.com/2022/ 04/21/amazon-launches-aws-iot-twinmaker-bring-digital-twins-mainstream/ (accessed on 02 April 2023).

3. Can Game Engines Help Digital Twins Visualize Data Better? Forbes. 2022. [Electronic resource] Available online: https://www.forbes.com/sites/jenniferhicks/2022/06/22/can-game-engines-help-digital-twins-visualize-data-better/?sh=577c9f681ca5 (accessed on 02 April 2023).

4. Cruz, R. J. M., & Tonin, L. A. (2022). Systematic review of the literature on Digital Twin: a discussion of contributions and a framework proposal. Gestão & Produção, 29, e9621. https://doi.org/10.1590/1806-9649-2022v29e9621

УДК 519.6: 681.5

СПОСІБ ФОРМУВАННЯ СИГНАЛІВ УПРАВЛІННЯ КРОКОВОГО ДВИГУНА

Владимирський О. А., Криворучко І. П.
ІПМЕ ім. Г. Є. Пухова НАНУ, ipme@ipme.kiev.ua

Основними типом переміщення для проведення робіт з віброкалібровки передбачається коливальні – за синусоїдальним законом *. Точність відтвореня таких коливань у великій мірі залежить від точності розрахунку міжкрокових інтервалів – сигналів STEP драйвера КД. Для більш точного позиціонування та плавного переміщення ротора КД використовують мікрокроковий режим, який передбачає переміщення ротора на кут кратний поділу основного кроку КД на число 2^N, де N – ціле число.

Для створення електромагнітного моменту, який взаємодіє з магнітними полями постійних магнітів ротора гібридного КД, обмотки статора заживлюють синусоподібними напругами $S1$ та $S2$, зсунутими по фазі на кут π/2. Блок формування сигналу керування БФСК, блок схема якого зображена на рис.1, формує два синусоподібні сигнали $S1$ та $S2$, зсунуті по фазі на кут π/2 і необхідні для мікрокрокового режиму роботи КД. Блок-схема розроблена у середовищі імітаційного програмування Simulink.

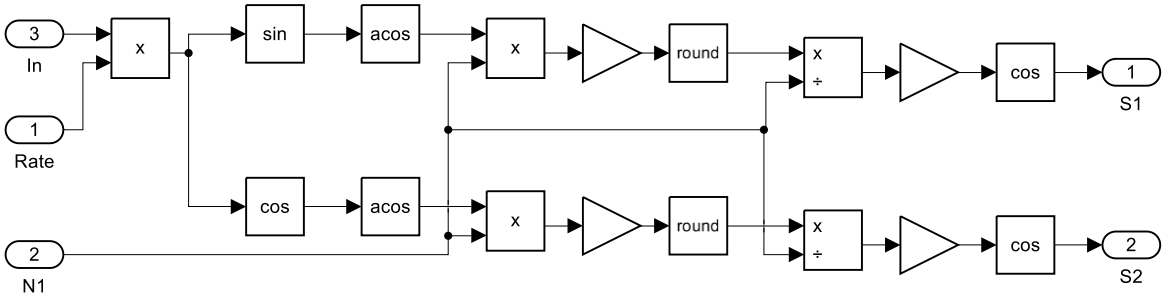
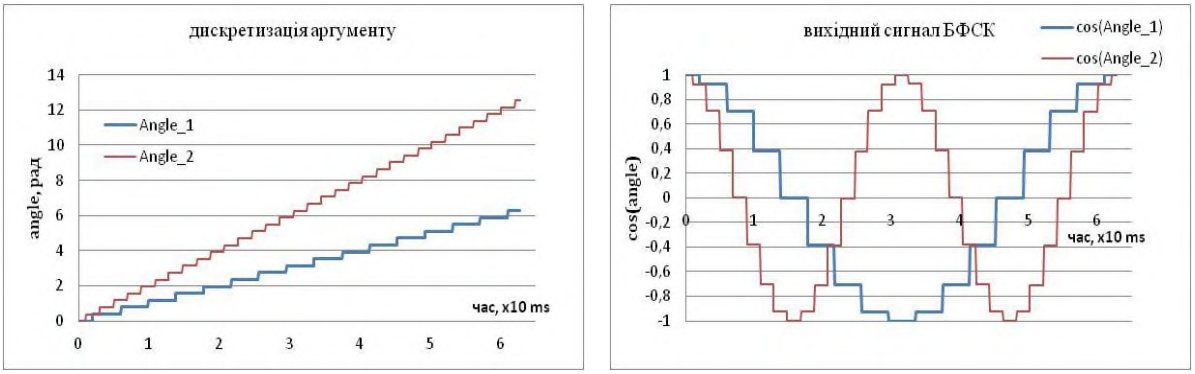


Рис.1 Блок формування сигналів управління КД

Принцип функціонування блоку полягає у дискретизації аргументу синусоїдальної функції за допомогою вбудованої функції Round, а потім застосування до отриманих значень функції Sin().



а б

Рис.2. Графіки для аргументу та вихідного сигналу БФСК

* Розробка структури низькочастотної автоматизованої вібро-калібрувальної установки НАВКУ-3. Моделювання та інформаційні технології / О. А. Владимирський, І. А. Владимирський, А. П. Іващенко, І. П. Криворучко. Збірник наукових праць. Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України. Вип. 89, Київ, 2019. С.45-49.

У якості джерела лінійної зміни фази (вхід *In*) у моделі використовується лінійно-змінний сигнал *Angle(t)=K(t)*t*. Для лінійно-змінного сигналу *K(t)*=const, і дорівнює швидкості зміни фази. Це відповідає $K/2\pi$ коливань фазних напруг за секунду.

У разі зміни аргументу (вхідний сигнал In) за законом синуса відповідні графіки дискретизації аргументу та вихідного сигналу матимуть вигляд зображений на рис. 3.

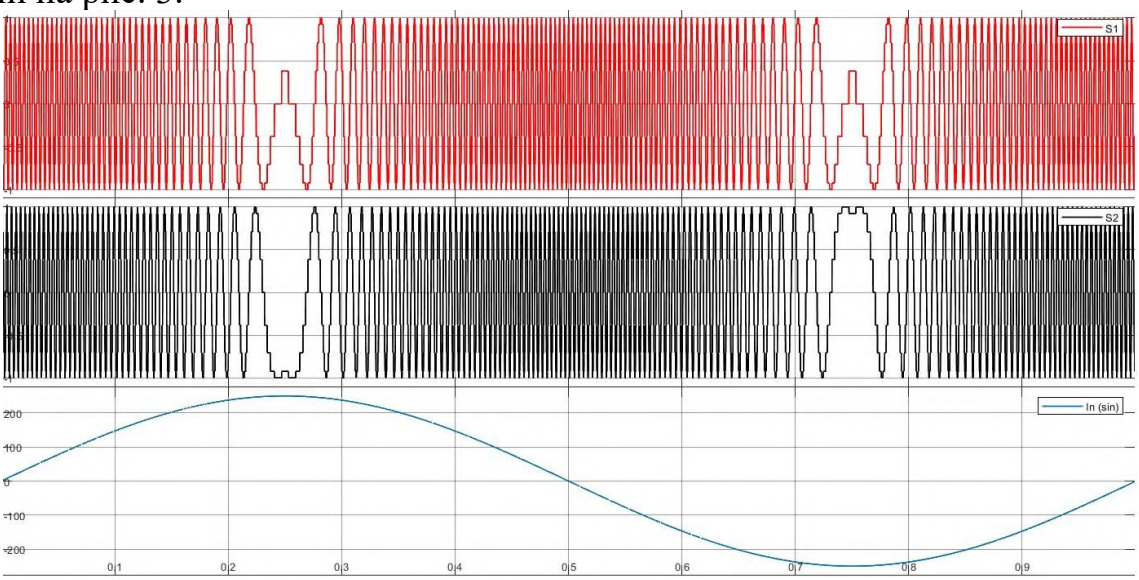


Рис.3 Сигнали блоку БФСК для синусоїдального *In(t)*

Тобто частота фазних напруг *S*1, *S*2 модулюється частотою вхідного сигналу $In(t)=A_m\sin(\Omega t)$.

Для оцінки точності відтворення закону коливань порівнювалися крива опорного сигналу (задавач) та вихідний сигнал – крива кутового відхилення $\Theta(t)$ (з використанням моделі КД в Simulink). В таблиці наведено дані порівняння для деяких частот коливань.

Оцінка подібності графіків

Частота коливання, Гц	Амп. коливання, рад	Макс. відхилення, рад	Відносне відхилення, %
0,1	4000	0,034	0,00085
1	400	0,027	0,00675
10	20	0,011	0,055

Для отримання часових значень міжкрокових інтервалів було розроблено алгоритм і програмний код. У якості вхідних параметрів для розрахунків були визначені: T – період коливань, Q_m – амплітуда коливань в кроках, N – значення мікрокроку (1, 2, 4, 8 ..) і точність (дискретність за часом) розрахунків. Враховуючи періодичність косинусоїди розрахунки проводяться для 1/4 періоду коливань.

УДК 539.376

МОДЕЛЮВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ СОНОТРОДІВ ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ МЕТАЛІВ

Дяченко С. М., Красовський Т. А.
ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, sergiydiachenko@gmail.com,
Київський академічний університет НАН України, taraskras@gmail.com

Одним із видів технології для обробки деталей з метою зміцнення поверхневого шару за рахунок поверхневого пластичного деформування є обробка в замкненій камері під дією стохастичного переміщення металевих кульок за рахунок ударної взаємодії з поверхнею камери, яка коливається з ультразвуковою частотою [1]. При передачі кінетичної енергії металевих кульок до поверхні деталі яка підлягає обробці, в при поверхневому шарі відбуваються структурні зміни, пов'язані з підвищенням густини дислокацій, їх взаємодією, виникненням макро- та мікронапружень [2]. Ультразвукові сонотроди є однією з головних частин технологічного обладнання яке може використовуватися для фінішної обробки деталей в різних галузях машинобудування.

Головною частиною сонотродів, у даному випадку, повинна бути камера достатнього об'єму куди поміщаються деталі що обробляються. Відомо декілька рішень конструювання та використання таких сонотродів [1, 3]. Однак це обладнання розраховане на роботу з магнітострикційними перетворювачами на максимально низьких частотах ультразвукового діапазону. Метою даної роботи є подальший розвиток ультразвукових сонотродів для застосування в даних технологічних рамках та при використанні сучасних високо добротних п'єзокерамічних перетворювачів.

Загальна методика моделювання сонотроду базується на використанні декількох сонотродів які працюють на різних модах коливань [4]. Сонотрод рис.1 математично складається з двох простих сонотродів- один з яких має стрижневу поздовжню моду коливань, другий – згинальну моду коливань.

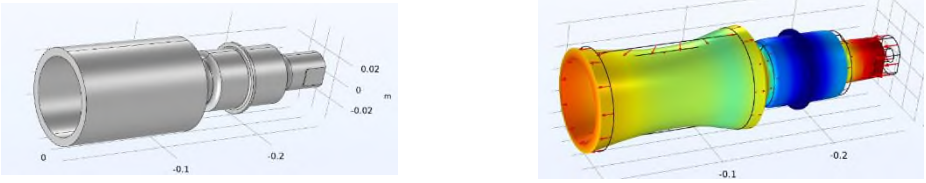


Рис. 1. Форма та епюра власної коливальної моди сонотроду, по довжині якого відбувається трансформація повздовжньої моди в згинальну.

Цей сонотрод має власну резонансну частоту 20 кГц та розмір камери для обробки деталей: Ø = 60 мм, L= 90мм.

Другий приклад снотроду (рис. 2) є складним збірним сонотродом. Він збирається з двох сонотродів простого – циліндрична обичайка, яка має першу моду власних коливань та складного сонотроду, який трансформує поздовжню моду на вході в крайову моду на виході [5].

Рис. 2. Складний збірний сонотрод. Загальна мода коливань 20 кГц

Технологічно цей сонотрод виготовляється з двох частин: циліндричної обичайки та складного сонотроду який трансформує поздовжню моду в крайову (рис. 3).

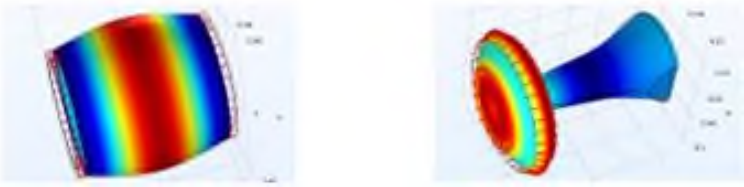


Рис. 3 Власна мода коливання циліндричної обичайки та складного сонотроду

Дана модифікація сонотроду має власну резонансну частоту 20 кГц та розмір камери для обробки деталей: Ø = 70 мм, L= 110мм. Виготовлення даного сонотроду виглядає більш технологічним, ніж вище описаного. Практично сонотрод можна виготовити з двох частин, які можуть вироблятися з різних матеріалів, а з’єднання може відбуватися як зварюванням, так і різьбовим сполученням.

В подальшому, треба розвинути моделювання сонотроду з урахуванням термомеханічних втрат матеріалу при роботі з зовнішнім навантаженням.

1. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки компрессора и вентилятора. Часть1. Монография. Запорожье, изд-во ОАО «Мотор Сич», 2003. 396 с.

2. Зміцнення поверхні сплаву ВТ6 механічними високочастотними ударами (SMAT) / А. П. Бурмак і ін. *Металофізика, Новітні Технології 44*, № 11, 2022. С 14531474. doi: 10.15407/mfint.44.11.1453

3. Стебельков И.А. А.с. № 608564 Ультразвуковое устройство для упрочнения деталей.

4. Дяченко С.М. Задача моделювання характеристик складного збірного сонотроду для ультразвукового зварювання полімерів. Матеріали науково-практичної конференції «Кібербезпека енергетики».Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова Національної академіїнаук України : матеріали, 27 травня 2022 р. Київ : ІПМЕ ім. Г.Є.Пухова НАН України, 2022. 129 с.

5. I.K.Senchenkov, V.I.Kozlov, O.P. Chervinko, O.P. Vasilenko Design of waveguides with an axisymmetric longitudinal-bending vibration mode. International and Applied Mechanics, Fedruary, 1993.

УДК 681.5+004.896

ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРА *ARDUINO* В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Клименко П. О., Загнойко В. С., Ковалюк Д. О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, pavloklim20@gmail.com, pechenya1@ukr.net

Arduino – це відкрите програмоване обладнання, яке дозволяє автоматизувати різноманітні технологічні процеси та виробничі середовища, забезпечуючи точність та ефективність керування. *Arduino* складається з мікроконтролера та набору компонентів, що дозволяє підключати його до датчиків, інтерфейсів та інших пристроїв.

В онову платформи покладене програмне забезпеченні, яке може бути написане на мові *C* або *C*++. Це дозволяє програмістам створювати власні програми для контролю та автоматизації конкретних об'єктів. Arduino може бути використаний для контролю і керування різними технологічними параметрами, такими як температура, рівень рідини, керування рухом пристроїв та багато іншого. Використовуючи відповідні модулі зв'язку (мережевий, *wi-fi*), Arduino може отримувати запити та взаємодіяти з системами вищого рівня (рис. 1).

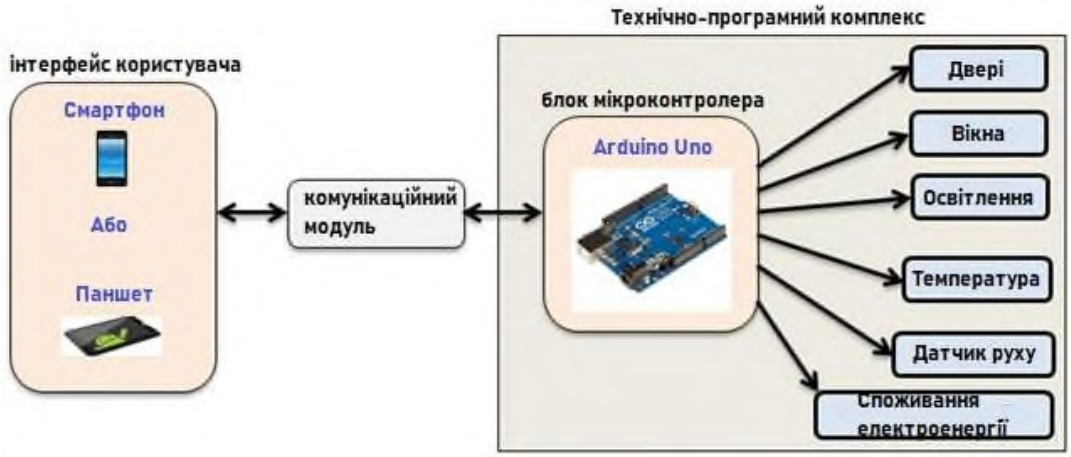


Рис. 1. Архітектура системи керування на основі мікроконтролера Arduino Uno

Одним з прикладів використання Arduino у виробничому середовищі є контроль температури в бродильному процесі пивоваріння. Цей процес вимагає точного контролю температури, який може бути забезпечений за допомогою контролеру та термостата. Інший приклад - автоматизація процесу збору даних на виробничій лінії. За допомогою датчиків та Arduino можна отримати дані про рівень продуктивності лінії збирання, що дозволяє збільшити ефективність та оптимізувати процес виробництва.

Використання Arduino також дозволяє забезпечити моніторинг та контроль за процесами виробництва. Дані, зібрані за допомогою датчиків та Arduino, можуть бути передані до *SCADA*-системи, яка дозволяє операторам контролювати такі параметри процесів виробництва, як температура, тиск, швидкість та інші.

Основною перевагою використання *Arduino* для автоматизації процесів виробництва є його відкрите програмне забезпечення та доступна ціна. *Arduino* має

власну *IDE* (*Integrated Development Environment*), що дозволяє легко розробляти програми для платформи. Ця *IDE* містить в собі редактор для написання коду, засоби для компіляції та завантаження програм на платформу, а також серію прикладів та бібліотек, що допомагають прискорити розробку. IDE Arduino дуже проста у використанні та навчанні. Вона має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та підтримує багато мов програмування, включаючи C++, що дозволяє зробити розробку програм доступною для широкого кола розробників. Крім того, існують також альтернативні IDE для Arduino, такі як PlatformIO та Visual Studio Code, що дозволяють розширити можливості розробки та використовувати додаткові інструменти для програмування платформи.

Програмування під Arduino дійсно є дуже простим. Це можливо завдяки великій кількості доступної документації, засобів для розробки та активній спільноті розробників. Ще одним фактором, який робить програмування під Arduino комфортним, є наявність великої кількості прикладів та бібліотек. Більшість функцій та датчиків мають готові бібліотеки, що дозволяє значно спростити розробку програм та скоротити час, необхідний для розробки.

Продемонструємо переваги автоматизації за допомогою Arduino на прикладі системи поливу рослин. Для цього потрібно: Arduino Uno (або аналогічний мікроконтролер), датчики вологості ґрунту (наприклад, модуль датчика вологості ґрунту для Arduino), насос для поливу рослин, транзистор для керування насосом, реле для керування насосом, блок живлення для Arduino та насоса. Програмний код для такого проекту:

```
const int soilMoistureSensorPin = A0;
const int pumpPin = 9;
const int pumpRelayPin = 8;
const int soilMoistureThreshold = 500;
void setup() {
  pinMode(pumpPin, OUTPUT);
  pinMode(pumpRelayPin, OUTPUT);
  digitalWrite(pumpRelayPin, HIGH);
}
void loop() {
  int soilMoisture = analogRead(soilMoistureSensorPin);
  if (soilMoisture < soilMoistureThreshold) {
    digitalWrite(pumpRelayPin, LOW);
    digitalWrite(pumpPin, HIGH);
    delay(5000); // час, протягом якого працює насос
    digitalWrite(pumpPin, LOW);
    digitalWrite(pumpRelayPin, HIGH);
  }
  delay(1000); // затримка між зчитуванням вологості
```

Цей код використовує модуль датчика вологості ґрунту, щоб виміряти вологість ґрунту, де розташовані рослини. Якщо рівень менше порогового значення, визначеного змінною *soilMoistureThreshold*, насос запускається і поливає рослини протягом 5 секунд.

УДК 004.94

РЕАЛІЗАЦІЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ ТЕПЛООБМІННИКА ЯК КОМПОНЕНТА ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА

Захарченко А. С., Степанець О. В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, zakharchenko.anastasia@lll.kpi.ua

На сьогоднішній день розвиток інформаційних технологій дозволяє акумулювати та обробляти великі об'єми даних, проводити розрахунки та детальний аналіз подій та процесів, надаючи кінцевим користувачам додаткові дані для оптимізації їх діяльності. Відносно новим та сучасним напрямком досліджень є розробка цифрових двійників фізичних об'єктів для забезпечення систематизованої та комплексної оцінки їх функціонування за рахунок інтеграції різнорідних методів, алгоритмів, технологій аналізу і обробки даних, їх накопичення та використання на різних життєвих етапах того чи іншого об'єкта.

Реалізація функції моделювання поведінки цільового об'єкту, у тому числі для синтезу системи керування ним, є одним із основних завдань розробки цифрового двійника. Результат може включати в себе набір моделей різного типу як для одного процесу, так і колекцію моделей, що описують різні процеси, що протікають в об'єкті [1]. Фактично, для зменшення необхідної обчислювальної потужності за місцем розташування обладнання при розробці цифрових двійників застосовуються хмарні технології. Це також прибирає чіткі обмеження на об'єм розрахунків при моделюванні, що дозволяє розробнику не шукати компроміс між точністю і складністю вихідної моделі системи, хоч і не знімає необхідності в оптимізації розрахунків і коду.

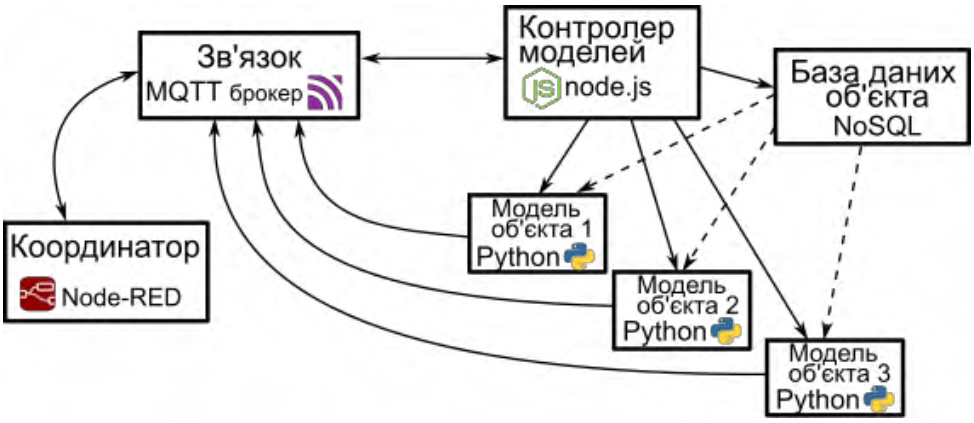
При реалізації моделей поведінки об'єкта потрібно враховувати, що вони мають забезпечувати певну функціональність пропонованого рішення, таку як прогнозування роботи та планування енергозатрат, what-if аналіз, підтримка рішень користувача, виявлення аномалій в роботі обладнання, попередження поломок та превентивне обслуговування, впровадження віртуальних датчиків тощо. Таким чином, необхідно забезпечити та стандартизувати повноцінний обмін даними між різними елементами двійника для забезпечення універсальності при роботі з моделями.

Для цифрового двійника теплообмінника математична модель процесу теплообміну представлена у вигляді системи диференціальних рівнянь, з припущенням, що теплообмінник умовно поділений на N зон, і в кожній з них температура теплоносіїв прийнята як середня між входом та виходом відповідно. У такому випадку тепловий баланс для кожної із зон має вигляд [2]:

$$\begin{cases} \dfrac{\frac{1}{2}\rho_w^N c_w^N A_w^N l^N d\left(t_{w,E}^N + t_{w,L}^N\right)}{d\tau} = G_{w,E} c_w^N \left(t_{w,E}^N - t_{w,L}^N\right) + \alpha_{gw}^N A_{gw}^N \left(t_g^N - \dfrac{t_{w,E}^N + t_{w,L}^N}{2}\right) \\ \dfrac{\frac{1}{2}\varepsilon_a^N \rho_a^N c_a^N A_a^N b^N d\left(t_{a,E}^N + t_{a,L}^N\right)}{d\tau} = G_{a,E} c_a^N \left(t_{a,E}^N - t_{a,L}^N\right) + \alpha_{ga}^N A_{ga}^N \left(t_m^N - \dfrac{t_{a,E}^N + t_{a,L}^N}{2}\right) \\ M_g^N c_g^N \dfrac{dt_g^N}{d\tau} = \alpha_{gw}^N A_{gw}^N \left(\dfrac{t_{w,E}^N + t_{w,L}^N}{2} - t_g^N\right) + \alpha_{ga}^N A_{ga}^N \left(\dfrac{t_{a,E}^N + t_{a,L}^N}{2} - t_m^N\right) \end{cases},$$

де N – номер зони; $t_{w,E}$, $t_{w,L}$ – вхідна та вихідна температури теплоносія, К; $t_{a,E}$, $t_{a,L}$ – вхідна та вихідна температури повітря, К; t_g – температура стінок теплообмінника, К; t_m – температура поверхні ребр теплообмінника, К; A_{gw}, A_{ga} – площа внутрішньої та зовнішньої поверхонь теплообмінника, м^2; ρ_w, ρ_a – густина води та повітря; c_w, c_a, c_g – питома теплоємність води, повітря та матеріалу теплообмінника, Дж/(кг·°С); A_w – площа перетину труби теплообмінника, м^2; A_a – площа повітропроходу, м^2; l – довжина труб теплообмінника, м; ε_a – об'єм повітря в теплообміннику, м^3; b – довжина повітроходу фанкойла, м; $G_{w,E}$, $G_{a,E}$ – масовий потік через фанкойл, кг/с; M_g – маса металу теплообмінної поверхні, кг; α_{gw}, α_{ga} – коефіцієнт тепловіддачі зі сторони теплоносія та зі сторони повітря, Вт/(м^2·К).

Розглянута вище нелінійна математична модель реалізована на мові програмуваання *Python* в вигляді відповідного класу та конвертована до *Cython* з метою пришвидшення та оптимізації розрахунків за рахунок попередньої компіляції готової моделі. За запуск відповідної моделі для конкретного екземпляра відповідає окрема платформа контролера, реалізована на *Node.js* (див. рисунок). До її обов'язків входить менеджмент бази даних конструктивних характеристик об'єктів, логування помилок моделювання, інтерпретація та перевірка команд від координатора цифрового двійника, що застосовується для відокремлення їх різних компонентів з метою уніфікації, розподілення обчислювального навантаження, оновлення окремих компонентів програмного забезпечення тощо.



Структура компонента моделювання цифрового двійника теплообмінника

Запропонована структура дозволяє забезпечити багатопотокове моделювання процесів при великому об'ємі запитів від координатора та розподілення розрахунків між серверами, включає можливість масштабування за рахунок додавання нових об'єктів в процесі функціонування двійника і без необхідності вносити зміни в програмне забезпечення.

1. Assad Neto, A., Ribeiro da Silva, E., Deschamps, F., & Pinheiro de Lima, E. (2021). Digital twins in manufacturing: An assessment of key features. Procedia CIRP, 97, 178–183. doi:10.1016/j.procir.2020.05.222

2.Yao Y., Huang M., Mo J., Dai S.. State-space model for transient behavior of water-to-air surface heat exchanger. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2013. Vol. 64, P.173-192. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.04.037.

УДК 620.179.14

СИСТЕМА РЕЄСТРАЦІЇ ТОРКАННЯ ДАТЧИКОМ ДЕТАЛІ ДЛЯ ТОЧНОГО НАЛАГОДЖЕННЯ ВЕРСТАТІВ З ЧПК

Іваненко Р. О.[1], Волошко О. В.[2], Покрова Д. М.[2]
[1]Український НДІ спец. техніки та судових експертиз. [2]КПІ ім. Ігоря Сікорського, indior@ukr.net

Значного підвищення точності металообробки та якості деталей можна досягти шляхом впровадження та використання технологічного обладнання, датчиків, засобів діагностики та контролю [1]. Такі технічні заходи повинні забезпечувати контроль стану різального інструменту і технологічних параметрів (режиму металообробки і раціонального використання обладнання), а також якості виготовлених деталей під час обробки [2, 3].

Запропонована система високоточної реєстрації торкання датчиком деталі для точного налагодження верстатів з ЧПК призначена для точного періодичного налагоджування верстату на робочі розміри обробки деталі, і працює наступним чином: датчик торкання встановлюється на робочій головці верстату та підводиться на не великій швидкості до деталі або еталону. Після торкання деталі спрацьовує датчик і від нього надходить сигнал на блок аналізу інформації, який фіксує координати точки торкання. При визначенні розмірів обробленої деталі визначається похибка обробки, потім формується сигнал корекції траєкторії руху інструмент. В разі обміру еталону отримані координати вносяться до управляючої програми і за цими координатами ведеться обробка деталей. Це дозволяє зафіксувати координати поверхні з високою точністю і значно підвищити точність обробки деталей. А також проводити корекцію траєкторії руху інструменту та проводити налагодження гнучкої виробничої системи для виготовлення надточних деталей. Мета створення подібних систем дає можливість визначення координат позиціювання об’єктів технологічного процесу в робочому просторі обладнання, що підвищує точність виготовлення деталей приладів в системах високоточної реєстрації торкання датчиком деталі для точного налагодження верстатів з ЧПК. Головне призначення таких систем високоточне отримання координат в робочому просторі верстату для точного періодичного налагоджування його на робочі розміри обробки деталі, компенсації завжди існуючих похибок механічної обробки на металорізальних верстатах з ЧПК і контролю точності розмірів оброблених деталей.

1. Мазур М. П. Основи теорії різання матеріалів : підручник [для вищ. навч. закладів] / М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, А. І. Грабченко, В. Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю. К. Новосьолов, Ф. Я. Якубов ; під заг. ред. М. П. Мазура. 3-е вид. перероб. і доп. Львів : Новий Світ-2000, 2020. 471с. // http://xn-e1ajqk.kiev.ua/wp-content/uploads/2019/12/Mazur-M.-P.-Osnova-teori-rizannya-meterialiv.pdf.

2. Глоба О. В., Вислоух С. П., Іваненко Р. О. Комплексна оптимізація процесу фрезерування на верстатах з ЧПК // РОЗВИТОК ТРАНСПОРТУ No2(9), 2021. С. 7–19. https://doi.org/10.33082/td.2021.2-9.01

3. Комп’ютерне моделювання процесів та систем. Чисельні методи : підручник / С. П. Вислоух, О. В. Волошко, Г. С. Тимчик, М. В. Філіппова. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2021. 228 с. //https://ela.kpi.ua/handle/123456789/42195.

УДК 621.039.54 ; 621.039.58; 621.039.6; 621.791

ДО ПРОБЛЕМИ ВИБОРУ СТРУКТУРИ ПЕРСПЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРІЇ ВИГОРОДКИ РЕАКТОРІВ ВВЕР-1000

Владимирський О. А., Артемчук В. О., Дюков В. А.
ІПМЕ ім. Г.Є.Пухова НАН України, av1000000@ukr.net

Протягом багатьох десятирічь атомна енергетика забезпечує значну долю загального виробництва електроенергії України. Продовження термінів експлуатації енергоблоків ВВЕР-1000 має бути засноване на експериментальних та теоретичних дослідженнях технічного стану критичних елементів конструкції енергоблоку – корпусу, шахти та вигородки реактора, які незамінні протягом усього періоду експлуатації реактора.

Мета дослідження полягає у розробленні науково-обґрунтованої методики вимірювань геометричних розмірів вигородки активної зони ядерних реакторів АЕС, а також структури та вимог до спеціальних технічних засобів для їх використання у процесі виконання заходів продовження термінів експлуатації енергоблоків понадпроектний строк. Вигородка призначена для формування поля енерговиділення, дистанціювання периферійних касет і радіаційного захисту. Особливістю експлуатації вигородки є наявність сильного нейтронного випромінювання і високих температур внаслідок радіаційного розігріву, які призводять до розпухання металу. Потенційну загрозу представляють зменшення зазорів між внутрішньою поверхнею вигородки і поверхнею оболонок твелів та між зовнішньою поверхнею вигородки і внутрішньою поверхнею шахти, зміна фізичних властивостей металу вигородки.

Розрахунок формозміни вигородки в процесі експлуатації та аналіз щодо впливу радіаційної повзучості дає суперечливі результати [1, 2]. Всі прогностичні моделі розпухання засновані на результатах модельних експериментів і мають малий часовий відрізок застосування. Інструментальний контроль фактичних розмірів вигородки в процесі експлуатації дозволить скоригувати прогностичні моделі формозмін вигородки з метою оцінки ресурсу конкретних екземплярів реакторів і уникнути надто консервативних оцінок.

Дуже жорсткі умови всередині вигородки – висока радіація та заповнення внутрішнього простору вигородки рідиною, яка вносить спотворення в зондувальні сигнали, суттєво обмежують можливості застосування відомих методів вимірювань геометричних розмірів. При цьому потрібна мікронна точність контролю геометричних розмірів вигородки.

Проведений аналіз відомих систем, а саме: Система СТС-К-ВКУ (ЗАТ "Діаконт", РФ, м. Санкт-Петербург); Спеціальна система вимірювання геометрії вигородки ВКУ (ТОВ "Инжиниринговая компания "АТОММАШЭКСПОРТ", Україна, м. Київ); Система NRI-Rez (Чехія, м. Ржеж); Комплекс ВК-5 технічних засобів вимірювання геометричних розмірів вигородки активної зони ВКП реакторних установок ВВЕР-1000 (ВП «КБ «Атомприлад» ДП «НАЕК «Енергоатом», м. Київ) – дозволяє сформувати основні положення для розробки перспективної системи вимірювання геометричних розмірів вигородки.

▪ У горизонтальному січенні вигородка має 6 симетричних секторів, які розташовані по периметру вигородки з кроком 60°. Кожна грань вигородки має паралельну грань, яка розташована симетрично відносно осі вигородки. У кожному секторі 15 граней. Всього граней 15 х 6 = 90. Вимірювання слід проводити під прямим кутом до паралельних граней вигородки. Так як кожній грані відповідає паралельна грань, можна провести перпендикулярно до граней 90/2 = 45 хорд. Довжини хорд однозначно визначають внутрішні геометричні розміри вигородки. При практичній реалізації слід визнати допустимим скорочення числа одночасно контрольованих хорд, наприклад, як у системі ВК5.

▪ Перспективну систему пропонується будувати на основі конструкції стабілізованої платформи – доопрацьованого модуля вимірювальної системи ВК5. Це вдалий, продуманий засіб доставки, кутового та лінійного переміщення, точного позиціонування засобів вимірювання всередині вигородки, добре адаптований до штатних засобів, що є на АЕС.

▪ Застосування лазерних тріангуляційних перетворювачів (як в системи ВК5) для вимірювання хорд вигородки є малоперспективним. Дистанційні вимірювання неможливі через наявність каламутного рідкого середовища, а поблизу стінки вигородки є висока радіація, яка скорочує "час життя" вимірювальної системи до неприйнятно малої величини. Вибір більш стійких до радіації лазерних вимірювачів та створення захисного бар'єру може виявитися дорогим і малоефективним.

В даний час в Інституті проводиться опрацювання конструкції перспективної вимірювальної лінійки на основі магнітної системи для встановлення на стабілізовану платформу ВК5.

1. Чирков О. Ю., Харченко В. В. Вплив радіаційної повзучості на визначення формозміни вигородки активної зони реактора ВВЕР-1000 за умов довгострокової експлуатації. *Допов. Нац. акад. наук Укр*. 2021. № 3. С. 40–47. https://doi.org/10.15407/dopovidi2021.03.040

2. Чирков А. Ю., Харченко В. В. Особенности расчетной оценки формоизменения выгородки активной зоны реактора ВВЭР-1000 с учетом радиационного распухания. *Пробл. прочности*. 2020. № 3. С. 5–20.

УДК 621.577

ЗАСТОСУВАННЯ ЕКСЕРГЕТИЧНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ПРЕДИКТИВНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ

Некрашевич О. В., Волощук В. А.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, olena.nekrashevych@gmail.com, vl.volodya@gmail.com

Кожна теплонасосна система (ТНУ) має достатньо велику кількість компонентів, які взаємопов'язані між собою. Після певного періоду роботи системи можуть виникнути несправності, дефекти або порушення нормального режиму роботи, що призводить до суттєвого зниження енергоефективності системи. Погіршення ефективності не відбувається раптово в певний момент, а поступово накопичується від еталонного стану аж до відмови [1]. Інформація про відхилення найбільш відомих параметрів компонентів системи від їх проектних значень не дає об'єктивної картини щодо впливу цих відхилень на систему в цілому. Це в свою чергу не вказує на найбільш неефективний компонент системи та не дає коректно реалізувати предиктивне обслуговування системи.

Ексергетичний аналіз можна ефективно використовувати у задачах діагностування зниження ефективності компонентів ТНУ. Використання в якості ключового показника діагностування умов роботи компонентів ТНУ ендогенної частини деструкції ексергії та динаміку її зміни дає змогу ідентифікувати, кількісно оцінити неполадки в компонентах та їх вплив як на ефективність інших компонентів так і на ефективність системи в цілому [1].

В роботі була створена комп'ютерна модель ТНУ типу «вода-вода» в пакеті *Matlab* та розглянуто випадок впродовж двох опалювальних сезонів, у яких має місце зниження коефіцієнт теплопередачі у випарнику та конденсаторі (при цьому не змінювалися характеристики компресора). В результаті через вплив компонентів, у яких з'явився накип чи будь-який інший дефект, спостерігається зменшення СОР ТНУ. Це підтверджується збільшенням електроспоживання ТНУ, показаним на рис. 1.

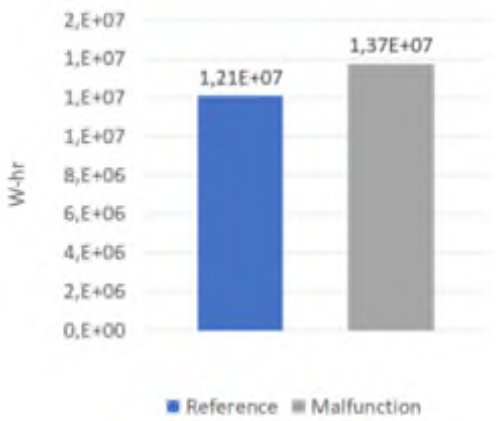


Рис. 1. Підвищення споживання електроенергії у ТНУ внаслідок погіршення показників компонентів (Malfunction) у порівнянні із випадком відсутності такого погіршення (Reference)

Впродовж двох опалювальних сезонів було розраховано зміни ендогенної частини деструкції ексергії у компонентах ТНУ. З рис. 2 видно, що для

випарника ця зміна є більшою, ніж для конденсатора, тобто найбільш неефективний компонент системи – це випарник.

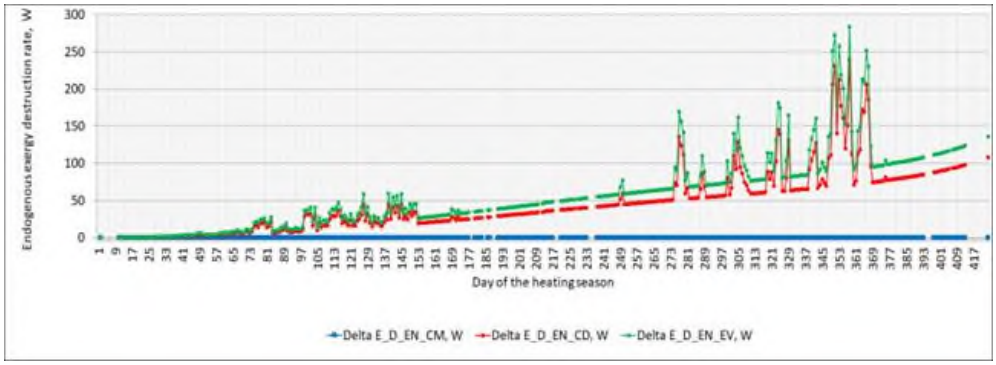


Рис. 2. Динаміка зміни впродовж двох опалювальних сезонів ендогенної частини деструкції ексергії у компонентах ТНУ

На основі отриманої інформації було запропоновано превентивне обслуговування саме випарника після закінчення першого опалювального періоду. З рисунка можна зробити висновок, що споживання електроенергії ТНУ у другому опалювальному періоді зменшилося на 10,4 %. У разі превентивного обслуговування конденсатора після першого опалювального сезону також буде мати місце зниження споживання електроенергії ТНУ на 5,9 %. Тобто, превентивне обслуговування конденсатора забезпечує меншу економію електроенергії у порівнянні із очищенням/заміною випарника, як це наведено на рис. 3.

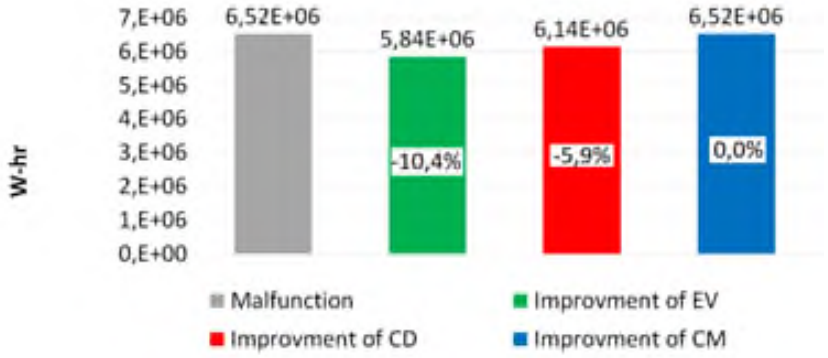


Рис. 3. Зміна споживання електроенергії ТНУ у другому опалювальному сезоні після проведення предиктивного обслуговування компонентів

Отже, запропонований метод на основі оцінювання зміни ендогенної частини деструкції ексергії у непроектних режимах роботи системи дає можливість кількісно оцінити динаміку впливу дефектів на зниження енергетичної ефективності системи в цілому та забезпечити ефективну реалізацію предиктивного обслуговування теплоенергетичного обладнання підприємства [2].

1. Wang L, Fu P, Wang N, Morosuk T, Yang Y, Tsatsaronis G. Malfunction diagnosis of thermal power plants based on advanced exergy analysis: the case with multiple malfunctions occurring simultaneously. Energy Convers Manage 2017; 148: 1453–67.

2. Некрашевич О. & Волощук В. (2022). Ексергетичне діагностування неполадок у компонентах теплового насосу у змінних режимах роботи. *Automation of Technological and Business Processes, 14(4),* 27-34. https://doi.org/10.15673/atbp.v14i4.2433.

УДК 624.014:620.174.21

АВТОМАТИЗАЦІЯ МОНІТОРИНГУ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Філіппова М. В., Демченко М. О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, m.filippova@kpi.ua, dmariiaa@gmail.com

Виконання технічного обстеження та моніторингу будівель є основною та невід'ємною частиною їх експлуатації. Одним з основних показників при обстеженні будівель, несучі елементи яких виконані з металевих конструкцій, є зміна напружено-деформованого стану цих елементів [1]. Підвищення значення напруги та величини деформації вище допустимих, призводить до зміни фізичного стану металу, його пошкодження та в крайньому випадку порушення його цілісності. Основною причиною цього є нехтування власником необхідними умовами експлуатації та своєчасним проведенням діагностичних заходів основних конструкцій будівель [2].

Важливим кроком в забезпеченні безпеки будівель, що виконані з металевих конструкцій, є введення системи моніторингу напружено-деформованого стану фасонних профілів металевих конструкцій. Система моніторингу призначена для автоматизованого збору інформації про деформацію при статичному навантаженні конструкції, формування та видачі сигналів інформації про деформацію. Сигнали з акустичних перетворювачів у вигляді часових інтервалів проходження акустичної хвилі та з температурних датчиків (температури металевої конструкції у місці вимірювання) виступають основними даними в системі діагностики металевих конструкцій за акустичним методом [3].

Функціонально система складається з трьох основних частин, зображених на рисунку: блока діагностики, блока керування, віддалених мобільних пристроїв. Блок діагностики, що розміщується в місці проведення вимірювань, збирає інформацію про об'єкт. Кількість таких блоків варіюється в залежності від складності металевої конструкції будівлі. Відповідні сформовані сигнали надсилаються до блоку керування, де і відбувається оцінка отриманих даних та прийняття рішень. Автоматизоване робоче місце диспетчера та сервер, що безпосередньо входить до блоку керування, пов'язані з віддаленими пристроями, куди надходить вся необхідна поточна інформація про об'єкт. Кожна з вказаних частин представляється певною апаратною реалізацією із забезпеченням автономності своєї роботи. Так блок діагностики оснащуються автономними джерелами енергії. Це пов'язано з дистанціюванням місць діагностики один від одно, і в кожному окремому випадку різниться.

Автоматизація процесу моніторингу направлена на забезпечення:

- автономності роботи системи моніторингу,
- постійній реєстрації деформацій при статичному навантаженні металевих конструкцій;
- оперативність реєстрації деформацій;
- достовірності інформації від технічного стану конструкції;
- зниження матеріальних витрати для проведення спостережень за просторово-часовими характеристиками процесу деформації конструкції.

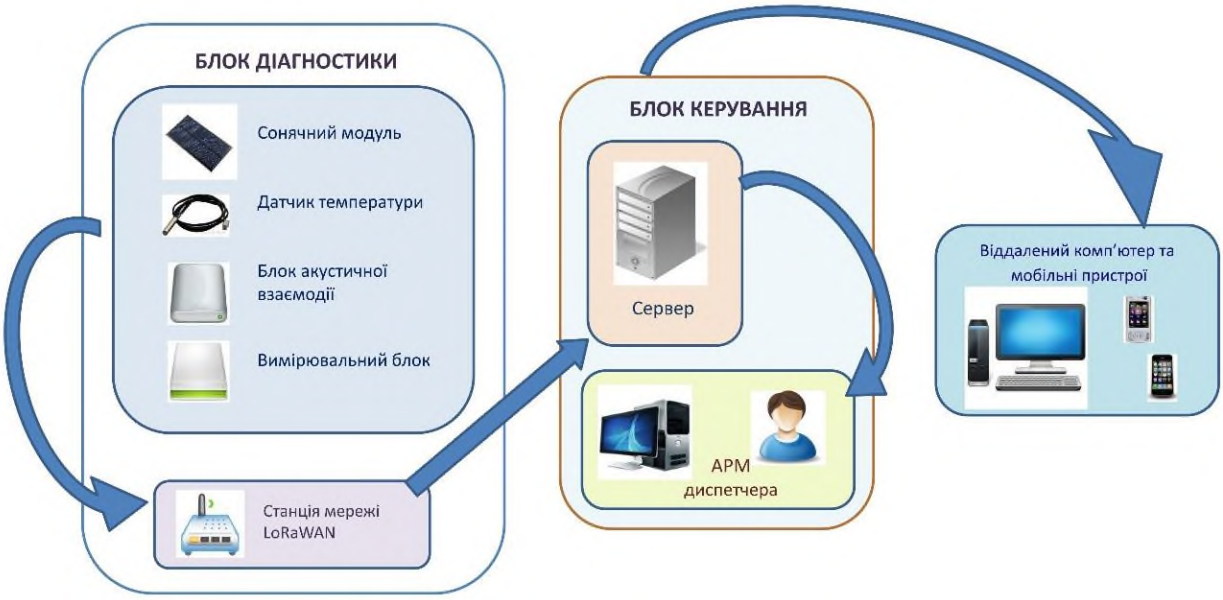


Схема апаратної реалізації системи моніторингу напружено-деформованого стану фасонних профілів металевих конструкцій

Передача інформації від блоку діагностики до блоку керування в автоматизованому режимі за допомогою технології LoRa. Дана технологія бездротового зв'язку LoRa призначена для організації низькошвидкісного обміну даними недорогих батарейних пристроїв на великі відстані. Приймачі LoRa завдяки методам модуляції та обробки сигналу, що використовуються, мають високу чутливість до -137 дБм, що забезпечує великий радіус дії на відкритому просторі (до 10 км) і хорошу проникну здатність всередині приміщень.

Особливе значення для контролю напружено-деформованого стану металу має організація системи моніторингу, що дозволяє оперативно проводити неруйнівний контроль і дозволять визначати значення дійсних механічних напружень у металевих конструкціях з високою точністю будь-якої миті впродовж всього життєвого циклу будівлі, без її пошкодження.

Система моніторингу напружено-деформованого стану призначена для своєчасного виявлення суттєвих змін напружено-деформованого стану в несучих елементах будівель, які можуть спричинити переведення об'єкта в обмежено працездатний або аварійний стан. Застосування даної системи моніторингу дозволяє вирішити завдання забезпечення безпеки будівель, виконаних з фасонних профілів металевих конструкцій, підвищити їх довговічність і уникнути ризиків пов'язаних з їх руйнуванням.

1. L. Kuzmych. Current state of tools and methods of control of deformations and mechanical stresses of complex technical systems [Text] / L. Kuzmych; O. Kobylianskyi; M. Duk // Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments, Vol.10808, 2018, 108085J.

2 ДБН В.1.2-5:2007 Науково-технічний супровід будівельних об'єктів. Введ. 01.01.2008. К.: Мінрегіонбуд України, 2007. 16 с.

3. Demchenko M. Correcting the position of piezoelectric transducers during acoustic control of the stressed-strained rolled sections / G. Tymchik, M. Filippova, M. Demchenko // Eastern-European Journal of Eenterprise Technologies. 2016. № 5 (83). Pp. 27-33.

УДК 004.056

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄ ПІДВИЩЕНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТУРБОКОМПРЕСОРА

Гурський О. О.
ОНТУ, gurskiya2017@gmail.com

Незважаючи на розвиток сучасних засобів та систем автоматизації, в наш час широко не використовуються системи управління, які за рахунок забезпечення координації регулюванних змінних, в перехідних режимах, реалізують ефективні режими функціонування об'єктів управління. В окремому випадку до таких об'єктів можна віднести компресор динамічного принципу дії (відцентровий або осьовий) який працює з теплообмінним апаратом. Якщо розглянути характеристики компресора згідно з характеристиками мережі з якою компресор працює, то можна визначити енергоефективну область функціонування *Oi* (рис. 1). Забезпечення функціонування компресора в енергоефективній області роботи можливо при реалізації координації регульованих змінних [1]. Таким чином, синтез відповідних енергоефективних систем управління турбокомпресорних установок є актуальним.

Метою роботи є підвищення ефективності функціонування турбокомпресорної установки за рахунок системи, що забезпечує погодження перехідних процесів.

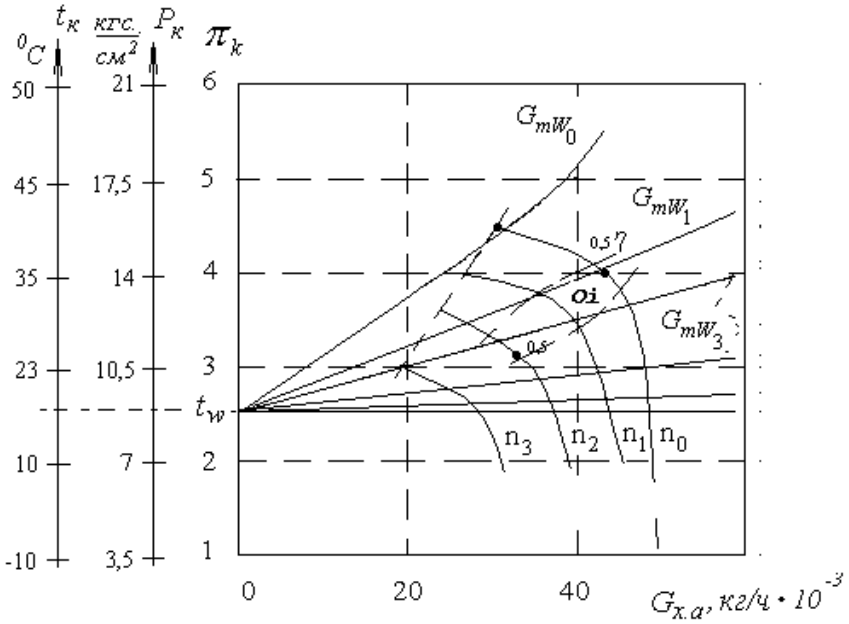


Рис. 1. Суміщені характеристики компресора *n* і мережі G_{mW} з визначеною областю *Oi* ефективного функціонування турбокомпресора: $G_{х.а}$ – продуктивність турбокомпресора; P_k – тиск конденсації; $\pi_к$ – степінь підвищення тиску

Для реалізації координації регульованих змінних, в даному випадку, необхідно при синтезі системи управління мати два управляючих впливи. Перший вплив пов'язаний зі зміною характеристики мережі (за рахунок зміни витрати середовища, що охолоджує, на конденсаторі який підключений до компресора).

Другий вплив пов'язаний зі зміною характеристики компресора при зміні швидкості обертання валу чи при зміні положення лопаток дифузора.

Якщо є можливість в результаті регулювання змінювати характеристики компресора і мережі то можна забезпечити ефективний режим функціонування турбокомпресорної установки.

Для реалізації координації регульованих змінних в перехідних режимах необхідно синтезувати систему, що забезпечує погодження перехідних процесів. Структурна схема такої системи, що представлена на рис. 2, відображає дворівневий принцип управління.

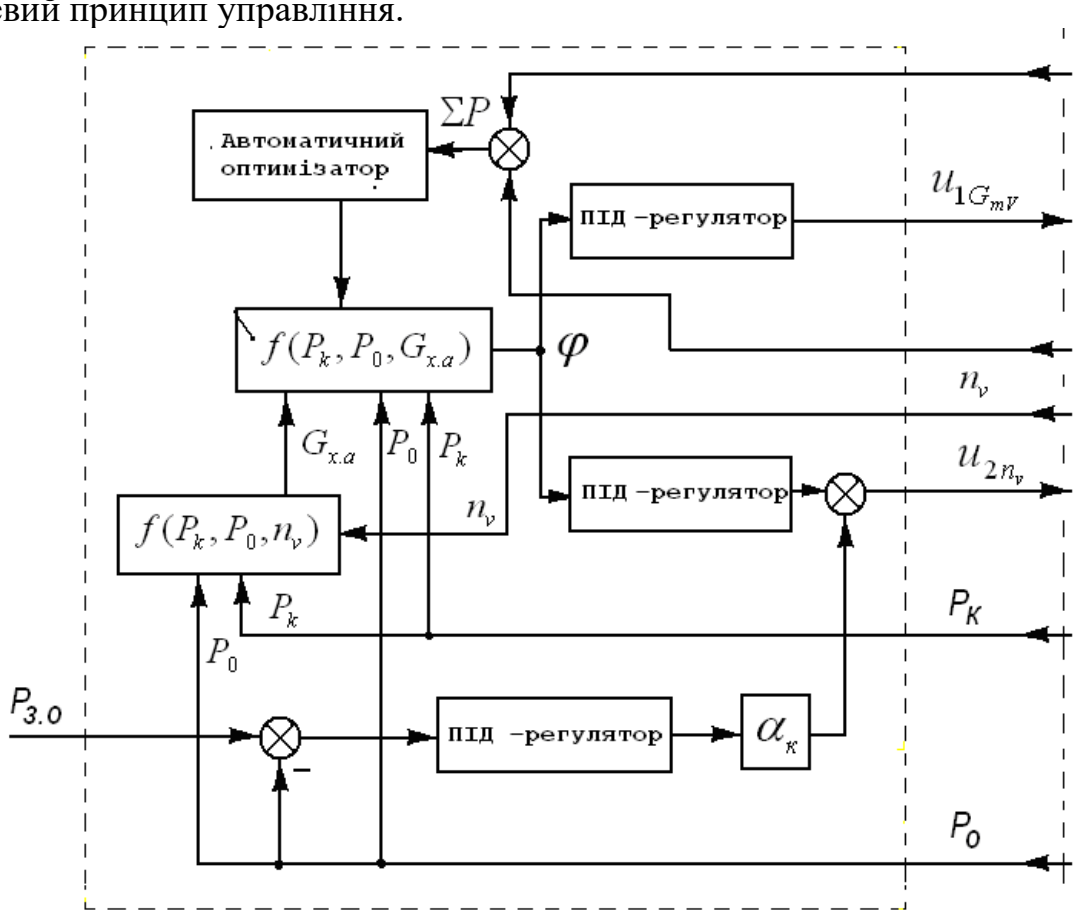


Рис. 2. Структурна схема системи ефективного управління турбокомпресором, який функціонує з конденсатором: $n_м$ – швидкість обертання валу турбокомпресора, u_{1GmW}, u_{2nv} – управляючі впливи

На першому рівні управління реалізується відпрацювання відхилення від співвідношення φ змінних $G_{x.a}$, P_0 і P_k, а на другому рівні управління реалізується стабілізація регульованої змінної P_0 на заданому значені. Проведені дослідження на основі засобів моделювання підтвердили принципову придатність системи, що забезпечує координацію регульованих змінних турбокомпресорної установки [2].

1. Бойчук Л. М. Синтез координирующих систем автоматического управления. М.: «Энергоатомиздат», 1991. 160 с. ISBN 5-283- 01521-1.

2. Гурский А. А., Денисенко В. А., Гончаренко А. Е. Система управления, обеспечивающая энергоэффективное функционирование холодильной турбокомпрессорной установки. Автоматизация технологических и бизнес-процессов. Одесса, 2015. № 1. С. 62–66. DOI: 10.15673/2312-3125.21/2015.42866.

УДК 681.5+004.896

АВТОМАТИЗАЦІЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЧАТ-БОТІВ

Ковалюк О. О.[1], Ковалюк Д. О.[2]
[1]Вінницький національний технічний університет oleh.kovalyuk@vntu.edu.ua
[2]КПІ ім. Ігоря Сікорського, dmytro.kovalyuk@gmail.com

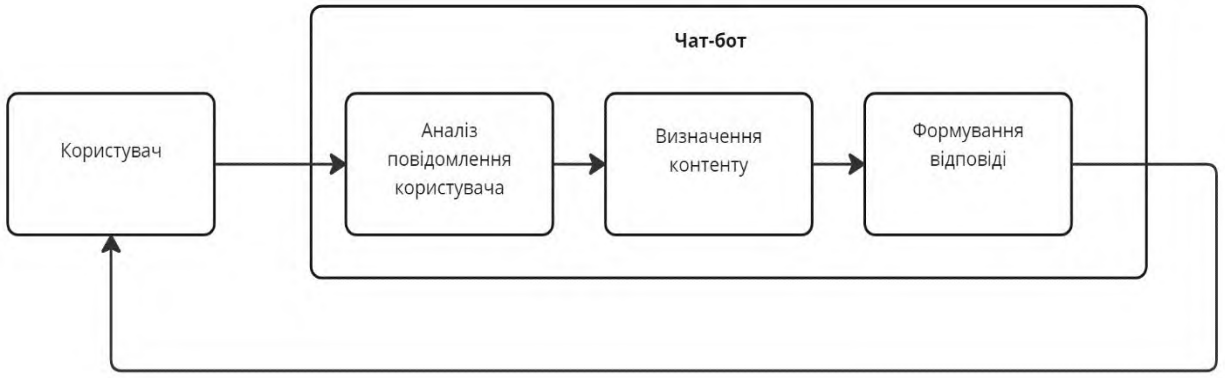
Сьогодні все більше уваги приділяється автоматизації бізнес-процесів в різних галузях: медицині, освіті, банківській сфері та ін. Особливістю таких бізнес-процесів є те, що вони потребують обробки звернень значної кількості клієнтів в реальному часі. Враховуючи складність залучення великої кількості операторів для систем підтримки, постає задача автоматичної обробки і опрацювання частини звернень, хоча б на початковому етапі. Це дозволить розвантажити фахівців і адресувати їм лише ті задачі, які не були вирішені за допомогою автоматизації алгоритмів обробки базових звернень.

Один із шляхів зазначеної автоматизації полягає у використанні чат-ботів [1].

До основних переваг чат-ботів належать:

- цілодобова доступність. Більшість із них можуть працювати в режимі 24/7;
- зменшення витрат на персонал;
- збільшення кількості заявок і продажів для різних сфер, наприклад, електронної комерції;
- усунення людського фактору, який може виникнути при спілкування з людиною-фахівцем;
- можливість використовувати персоналізовану інформацію для авторизованих користувачів, що підвищує лояльність клієнтів і рівень задоволення послугами;
- інтеграція з популярними платформами та месенджерами.

В переважній більшості випадків чат-бот є інформаційною системою з елементами штучного інтелекту, яка надає інтерфейс для взаємодії з користувачем, обробляє вхідні дані та надає потрібну інформацію або реалізує певну дію. Узагальнену структурну схему чат-боту наведенаона рисунку.



Узагальнена структурна схема чат-бота

Сьогодні найбільш розповсюдженими є чат-боти з текстовим або голосовим інтерфейсом. Також важливою частиною чат-ботів є база знань, модуль статистики, інструменти для розпізнавання мови.

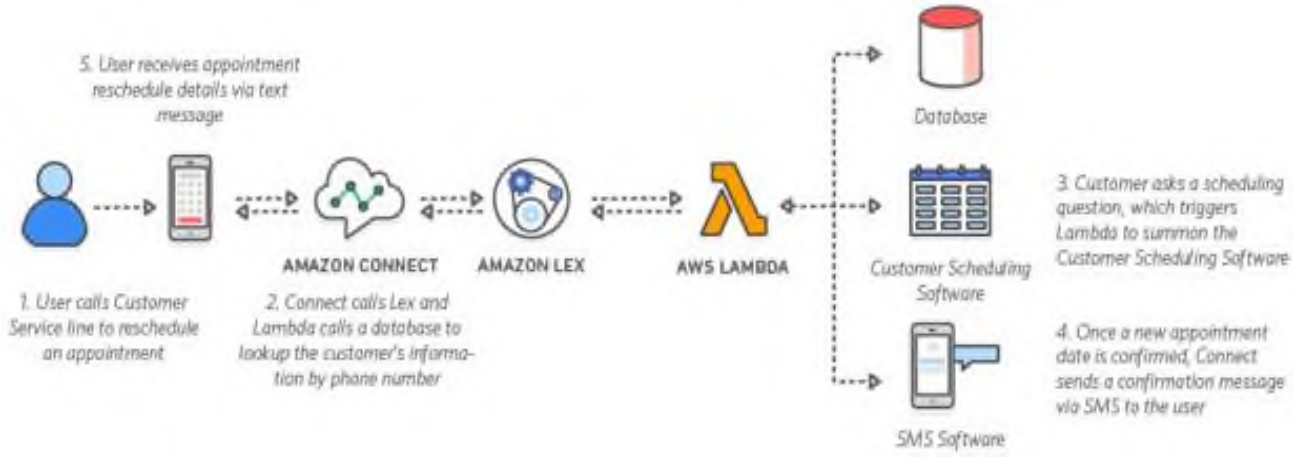
Проаналізуємо основні підходи до розробки чат-ботів.

1. Використання спеціалізованих сервісів.
2. Використання бібліотек і фреймворків для розробки чат-ботів.
3. Побудова чат-ботів на основі хмарних сервісів.

Використання спеціалізованих сервісів дозволяє швидко отримати чат-бота з широкими можливостями [2]. Такі сервіси часто пропонують функціонал з можливістю налаштування під конкретну предметну область, підтримують велику кількість мов користувачів (до 100), надають редактор для створення алгоритмів взаємодії з користувачами. Статистика звернень фіксуються в базі даних і доступна через дашбоард. До недоліків цього підходу слід віднести відсутність повного доступу до системи і складність або неможливість міграції на інші сервіси.

Другій підхід оснований на використанні бібліотек машинного навчання провідних компаній-розробників *PyTorch* від *Facebook*, *TensorFlow* від *Google* та інших. Використовуючи ці бібліотеки, можна розв'язувати задачі розпізнавання зображень, рукописного та друкованого тексту, аналіз аудіо та відео. Головна складність реалізації чат-боту таким способом полягає в необхідності залучення кваліфікованих програмістів, які будуть розробляти програмне забезпечення боту (переважно на *Python*), проводити навчання нейронних мереж, інтегрувати інтерфейс, логіку та дані проекту. Беззаперечною перевагою є власний написаний програмний продукт, який легко підтримувати, змінювати і масштабувати.

Останній підхід є одним з найпопулярніших. Він передбачає використання набору хмарних сервісів для побудови чат-боту та його інтеграцію в системи підприємства або соціальні мережі/месенджери. Лідерами цього напрямку є такі провайдери хмарних послуг як *Amazon* [3], *Google*, *Microsoft*, *IBM*.



Хмарний контактний центр на основі сервісу Amazon Connect та чат-боту Amazon Lex

До сильних сторін цього підходу можна віднести надійність, масштабованість, прийнятна цінова політика.

1. Chatbot Automation: 10 Business Benefits Of Chatbots [Electronic resource] / Alishba Memoner // Mode of access. URL: https://botsify.com/blog/author/alishba-memon/.

2. Best AI Chatbot Platforms for 2023 [Electronic resource] / Werner Geyser // Mode of access. URL: https://influencermarketinghub.com/ai-chatbot-platforms/

3. Использование чатботов Amazon Lex в Amazon Connect [Electronic resource] / Amazon Web Services // Mode of access. URL: https://aws.amazon.com/ru/connect/connect-lexchatbot/.

УДК 658.78:004.896

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗАСОБАМИ *WMS*-СИСТЕМ

Радченко Ю. Д., Вислоух С. П.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, julolya@gmail.com

Вступ

Сучасний світ переживає наслідки епідемії *COVID*-19, а наша країна – війну з росією. Ці події показують, що сучасна логістика не в змозі встояти перед глобальними проблемами. Тому задача підвищення ефективності логістичних процесів насьогодні є досить актуальною.

Системи управління складом набули великого значення останнім часом. Зі збільшенням інтернет замовлень зросла потреба в ефективних рішеннях. Одним із таких рішень є система управління складом (*WMS*).

Тому поставлена задача виконати аналіз систем укравліннія складськими процесами, визначити їх функціональні можливості, розглянути типи систем управління складськими процесами та надати практичні рекомендації з їх розроблення, отримання та застосування.

Результати дослідження

Система управління складом – це програмне забезпечення, що створене для оптимізації складських процесів, а саме розподілу, ланцюга поставок. Як правило, *WMS* надає функціональні можливості, що допомагають оптимізувати та покращувати вищевказані складські процеси, розпочинаючи з моменту, коли товари вперше потрапляють на склад, через процес приймання та до моменту їх відправлення. Системи управління складом також можна інтегрувати з іншими типами програмного забезпечення, щоб усі процеси в системі були взаємопов'язаними, послідовними та оптимізованими [1].

До основних функцій системи *WMS* можна віднести такі.

1. Управління отриманими товарами. Ця функція передбачає, що товари проходить етап надходження, під час якого здійснюється ретельний моніторинг різноманітності, кількості, характеристик і стану або якості товарів, що надходять на склад і, таким чином, стануть частиною його запасів. У результаті зібрана інформація перевіряється на відповідність наказу, що отримана від корпоративного *ERP*-системою [2].

2. Управління місцями розташування в палетних стелажах, що реалізують так звані процеси розташування. Ці процеси виконують замовлення на розміщення товарів на складі, визначаючи їх найкраще розташування відповідно до їх типу, характеристик, розмірів тощо. Для цього система використовує попередньо визначені правила та стратегії [2].

3. Контроль запасів – це один із найбільш важливих інструментів у *WMS*, оскільки він використовується для отримання в режимі реального часу статусу, кількості та характеристик запасів, що зберігаються на складі [2].

4. Відправлення товарів. Цей етап передбачає процеси, що створюють замовлення, надсилають клієнтам, передають товари на інші склади та повертають їх постачальникам. Таким чином, вони відповідають за вихід і видалення запасів зі складу за допомогою таких операцій, як комплектування, видача повних контейнерів, консолідація замовлень і відправка замовлень до транспортного засобу розподілу [3].

На сьогодні застосовують чотири типи систем управління складом:

– автономна система;
– хмарна система;
– модулі ланцюга поставок;
– інтегрований з *ERP*-системою.

Висновки

Аналіз робіт з застосування автоматизованих систем управління логістичними процесам показав, що вони дозволяють: підвищити точність комплектування системи інвентаризації; поліпшити якість обслуговування клієнтів; знизити витрат на запаси; скоротити час, що витрачається на управління; збільшити швидкість виконання замовлень.

Встановлено, що склад для підприємства є одним із головних відділів, але до нього не приділяють достатньої уваги, на яку він зазвичай заслуговує. Але після кризи в цій сфері через *COVID*-19 всі зрозуміли що логістика часто відіграє вирішальну роль. Тому необхідно вдосконалювати вже наявні системи управління логістичними процесами та створювати нові і більш продуктивні на базі *WMS*.

1. *WMS – Warehouse Management System: adaptationpropused for the management of the reverse logistics* Guarnieri P.Chrusciack D.Scandelari L.Production (2006).

2.What is a Warehouse Management System (WMS)? Режим доступу: вільний. URL: https://www.mecalux.com/warehouse-manual/the-warehouse/what-is-warehouse-management-system-wms.

3. What is a Warehouse Management System (WMS) and how does it work? https://zesium.com/what-is-a-warehouse-management-system-wms-and-how-does-it-work.

UDC 004.93'12

RANSAC WITH SEQUENTIAL PROBABILITY RATIO TEST AS A BASIS FOR THE UNMANNED AERIAL VEHICLE AUTONOMOUS NAVIGATION

Aleksey Kuchkin, Artem Sazonov, Danylo Zghurskyi
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, KuchkinAleksey@gmail.com

Mobile robots' control system, particularly Unmanned Aerial Vehicle (UAV), achieve greater efficiency due to the use of reliable navigation algorithms based on the data collected from the optical sensors such as depth cameras, Light Detection and Ranging sensors (LIDARs). These data sources provide information about control object environment in point cloud. Therefore, for the synthesis of a high-precision control system, it is necessary to use an optimal algorithm for detecting objects from a 3D sparse map of the environment. The work of such algorithms, as a rule, is aimed: to detect objects of interests, and to search the specified objects. AI-based methods, primarily neural networks, cannot be used for this problem since the frequency of their inference and the actual accuracy are usually less than required [1]. The detection problem can be also solved in the other way, one of them is Random Sample Consensus method (RANSAC).

Analysis of objects on a sparse 3D map is performed using the body geometric and optical characteristics. The logical representation of the body of a certain set of points μ_i that need to be separated from the general set of points M can be presented as a set of certain three-dimensional primitives Ω, and written as a system of equations, where each equation σ_i describe a geometric primitive (line, plane, parallelepiped, sphere, etc.). Optical characteristics (color and intensity) can be written as a set of constraints Y to the system Ω in the form of inequalities. Thus, a mathematical model for objects that need to be detected is given as a system of equations with constraints:

$$\begin{cases} \sigma_i: A_i x_s + B_i y_s + C_i z_s + D_i = 0, \\ \mu_i: A_i x_t + B_i y_t + C_i z_t + D_t < threshold, \\ \vdots \\ P(v_i) \geq 0.95 \\ i \geq 1 \end{cases}, \tag{1}$$

where i – detected plane number; σ_i – plane equation; μ_i – subset of points that define the ith plane; $P(v_i)$ – confidence probability. Stopping criterion for plane searching:

$$(1 - \epsilon_i^3)^k < 1 - P(v_i)\,, \tag{2}$$

where k – number of previous iterations; ϵ_i – ratio of the number of subset points μ_i to the total number of points in cloud M.

The search process by the RANSAC algorithm consists of two steps: generating a statistical hypothesis with a given confidence probability; testing the hypothesis on the required mathematical model. These steps are performed iteratively until the desired result accuracy or other algorithm stop criterion is reached. An effective algorithm that can be used on board a UAV is a method based on partial evaluation – RANSAC with Sequential Probability Ratio Test (RANSAC with SPRT). This approach iteratively

evaluates a small subsample of points sequentially until the likelihood ratio of the hypothesis falls below a given threshold [2]. The algorithm can be presented as follows:

RANSAC with SPRT algorithm

Set test set: $Q \leftarrow q_i \in M, size(Q) \ll size(M)$

Set: $k \leftarrow 0,\ \mu_i \leftarrow \emptyset, l_i \leftarrow size(\mu_i),\ \epsilon_i \leftarrow 3/size(M)$

1 Sample set $\lambda_j, j = 1,2,3$ from M randomly;

2 Estimate model σ_i parameters (A_i, B_i, C_i, D_i) using sample data λ_j;

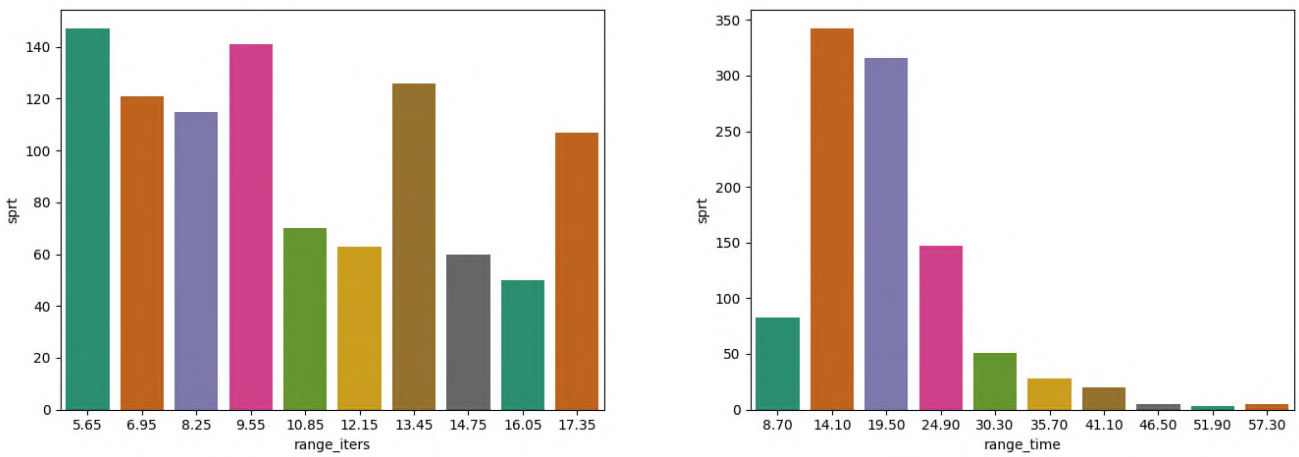
3 Compute inliers μ_k from Q and count them $l_k \leftarrow size(\mu_k)$

4 Update inliers $\mu_i \leftarrow \mu_k, l_i \leftarrow l_k$ and error $\epsilon_i \leftarrow l_k/size(Q)$ if $l_k > l_i$

5 Compute inliers μ_M from M if hypothesis is accepted

6 Repeat 1-4 until not (2) and increase iteration variable $k \leftarrow k + 1$

For the validation of RANSAC method, two evaluation criteria were used: the number of iterations; plane search time. We use quantification for RANSAC method, using self-assembled, Microsoft Kinetic sensor-based datasets. To check the algorithm stability, histograms of the number of hits of tests in the range of criteria for 95% confidence interval were constructed:



a) *b*)

Standard deviation histograms of iterations (*a*) and computation time (*b*) for 5% failure rate based on RANSAC with SPRT for 100 tests of 10 datasets

The UAV control system based on this method can be highly efficient due to the speed of the localization method based on detection.

1. Jinze Liu, Minzhe Li, Jiunn-Kai Huang, Jessy W. Grizzle. Realtime Safety Control for Bipedal Robots to Avoid Multiple Obstacles via CLF-CBF Constraints. 5 Jan 2023. URL: https://arxiv.org/pdf/2301.01906.pdf (Last accessed: 05.01.2023).

2. J. Matas; O. Chum. Randomized RANSAC with sequential probability ratio test. 05 December 2005 doi: 10.1109/ICCV.2005.198.

УДК 697

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО ПЛІВКОВОГО ВИПАРНИКА ЯК ОБ’ЄКТА КЕРУВАННЯ

Пашков. С. О., Мазур О. В.
Одеський національний технологічний університет, mazur.a.v.ua@gmail.com

При виробництві різноманітних алкогольних напоїв зазвичай постає проблема нормалізації вмісту алкоголю в готовому продукті. Процес деалкоголізації застосовується для зменшення вмісту алкоголю в одних продуктах та отримання спирту для зміцнення інших. Для підвищення енергоефективності процесу та поліпшення якості отриманих продуктів зазвичай використовується вакуумна дистиляція у плівкових випарниках (рис. 1). Використання термоелектричних перетворювачів (ТЕП) дозволяє значно зменшити енергетичні витрати при реалізації таких процесів. Розробка ефективних САК не можлива без наявності імітаційної математичної моделі такого процесу як об’єкту керування (ОК).

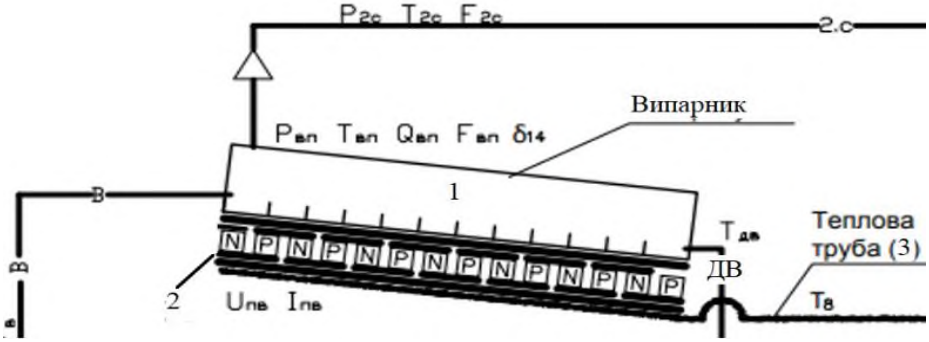


Рис. 1. Технологічна схема термоелектричного плівкового випарника:
1 – паровий канал випарника; 2 – ТЕП; 3 – теплова труба; в – подача виноматеріалу; ДВ – відвід деалкоголізованого виноматеріалу; 2.с – паропровід

В результаті аналізу процесів що протікають в комірці термоелектричного плівкового випарника з одним ТЕП як об'єкту керування було прийнято наступну структуру його математичної моделі (рис. 2). Вона включає в себе чотири основні складові: модель термоелектричного перетворювача (ТЕП), модель теплопередачі через плоску стінку, модель тепломасообмінних процесів у комірці плівкового випарника та модель перепаду тиску в паровому каналі комірки плівкового випарника.

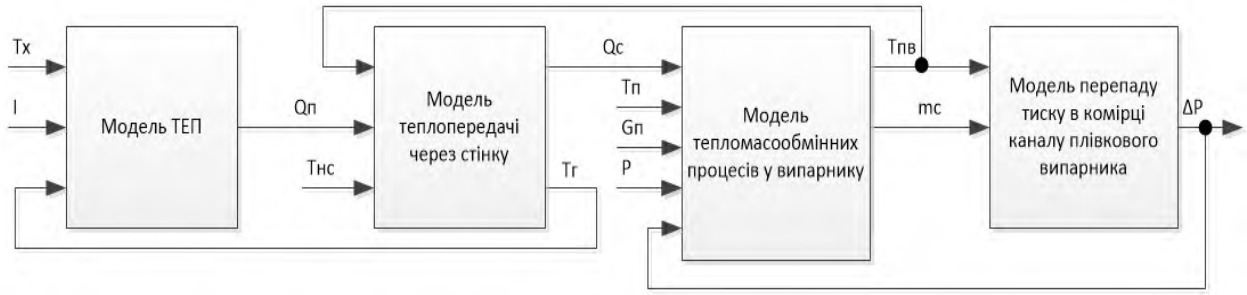


Рис. 2. Структурна схема математичної моделі термоелектричного плівкового випарника як об'єкту керування: $T_г$ – абсолютна температура гарячої сторони; $T_х$ – абсолютна температура холодної сторони; I – струм від вхідного джерела живлення; $Q_х$ – «холодного» теплового потоку; $Q_г$ – величина «гарячого» теплового потоку; $T_{пв}$ – температура продукту в випарнику; $T_{нс}$ – температура довкілля; Q_c – величина теплового потоку через плоску стінку

Математична модель теплопередачі через плоску стінку

Моделі температури стінки з гарячої сторони $t_{ст1}$ (1) та теплового потоку крізь неї Q (2) мають вигляд:

$$t_{ст1} = \int \frac{\frac{\left(\left(\frac{Q_{гв}-R_{ст}}{F}+t_{ст2}\right)-\left(t_{ст2}-\frac{Q_{гв}-R_{ст}}{F}\right)-t_{ст1.1}\right)\cdot F}{R_{ст}} - Q_{гв}}{c_{ст}\cdot m_{ст}} dt + t_{нс} \quad (1)$$

$$Q = Q_{гв} - \left(\frac{\left(\left(\frac{Q_{гв}-R_{ст}}{F}+t_{ст2}\right)-\left(t_{ст2}-\frac{Q_{гв}-R_{ст}}{F}\right)-t_{ст1}\right)\cdot F}{R_{ст}} - Q_{гв}\right) \quad (2)$$

де $t_{ст1}$ і $t_{ст2}$ – температури стінки з гарячої та холодної сторони відповідно; $\Delta t = t_{ст1} - t_{ст2}$ – температурний напір; $R_{ст}$ – термічний опір теплопровідності (стінки); F – товщина стінки; k – еквівалентний коефіцієнт теплопровідності; $c_{ст}$ – питома теплоємність матеріалу стінки; $m_{ст}$ – маса стінки; $t_{ст1.1}$ – температури стінки з гарячої сторони на крок раніше; $t_{ст1} = T_г$, $t_{ст2} = T_{пв}$

Математична модель тепломасообмінних процесів у випарнику

Модель зміни температури продукту в комірці випарника ($T_{пв}$) описується системою рівнянь (3):

$$T_{пв} = \begin{cases} \int \frac{Q_{гв}}{c_п \cdot m_п} dt + T_п;\ T_{пв} < T_к, m_{зал.спирту} > 0 \\ \int (T_{дп} - T_к) dt + T_{дп};\ T_{пв} \geq T_к, m_{зал.спирту} > 0 \\ \int \frac{Q_{гв}}{c_{дп} \cdot m_{дп}} dt + T_{дп};\ T_{пв} \geq T_к, m_{зал.спирту} > 0 \end{cases}, \quad (3)$$

де $m_{зал.спирту}$ – маса спирту, що не випарувалася; $Q_г$ – тепловий потік від гарячої сторони ТЕП; $c_п$ – теплоємність продукту; $G_п$ – масова витрата продукту; $T_п$ – початкова температура продукту; $T_к$ – температура кипіння спирту; $T_{дп}$ – температура перегріву ДП; $G_с$ – масова витрата спирту що випаровується; $c_{дп}$ – теплоємність ДП; $G_{дп}$ – масова витрата ДП

Модель перепаду тиску в комірці каналу плівкового випарника

Перепад тиску у паровому каналі комірки ΔP:

$$\Delta P = \lambda \cdot \rho\ (u^2 \cdot L) / 2D, \quad (5)$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного опору трубопроводу; u – швидкість потоку(м / с); D – внутрішній діаметр трубопроводу, м; L – довжина трубопроводу, м; ρ – густина рідини, кг / м3.

1. Інноваційні технології продуктів бродіння і виноробства: підруч. / Іванов С. В. та ін. // За загальною редакцією Іванова С. В. К. : НУХТ, 2012. 487 с.

2. Процеси і апарати харчових виробництв: у 3 кн. Кн. 3. Теплообмінні процеси: підруч. / Бойко В. С. та ін. Мелітополь, 2020. 300 с.

ЗМІСТ

«Кафедра технічних та програмних засобів автоматизації…» 3
1. **Панов А. О.** Дослідження регулювання коефіцієнтів несиметрії напруги нульової та зворотної послідовностей 5
2. **Шептицький Я. В., Плашихін С. В.** Постановка задачі автоматизації процесу сульфатування спиртів газоподібним триоксидом сірки 7
3. **Леонтьєв П. В., Левковський О. В., Лелюх О. М., Машенцов М. О.** Ідентифікація моделі координатного позиціювання модуля спостереження 9
4. **Тюріна Є. О., Ярощук Л. Д.** Джерела нестаціонарностей в адсорбційному очищенні відпрацьованих олив 11
5. **Журавель Є.В., Складанний Д. М.** Математичне моделювання газорідинного теплообмінника у процесі полімеризації ізобутилену 13
6. **Злобенко А. Ю., Запорожець Ю. А.** Моделювання статичного режиму кожухотрубного теплообмінника у процесі виробництва стиролу дегідруванням етилбензолу 15
7. **Коротинський А. П., Савула А. А.** Первинний аналіз даних електроенцефалограми під час розробки нейро-комп'ютерних інтерфейсів 17
8. **Лопата Д. Д., Тюріна Є. О.** Математичне моделювання холодильника у процесі парофазної ізомеризації н-бутану 19
9. **Ярощук Л. Д., Беднарська Я. С.** Використання штучної нейронної мережі для керування котлом ТЕЦ 21
10. **Юхимович А. М., Стороженко П. О., Складанний Д. М.** Можливості системи диспетчеризації *myScada* у розробленні мнемонічних схем об'єктів керування. Повідомлення 1 23
11. **Жлобінська К. Ю., Ситніков О. В.** Синтез системи керування сатуратором у процесі паро-водневої конверсії метану 25
12. **Коблай В. В., Бугаєва Л. М.** Дослідження ефективності каталізаторів у виробництві метанолу за трифазною схемою 27
13. **Волківський І. О., Складанний Д. М**. Синтез регулятора температури кип'ятильника у процесі виробництва крекінг-бензину 29
14. **Крижовський В. О., Ситніков О. В.** Система керування температури суміші сульфурованого алкілбензола з триоксидом сірки 31
15. **Бояковський Д. А., Ладієва Л. Р., Козаневич З. Я.** Математична модель куба ректифікаційної колони у процесі виробництва алкілбензолу хлорним методом 32
16. **Калічак Ю. І., Складанний Д. М.** Можливості системи диспетчеризації *mySCADA* у розробленні мнемонічних схем об'єктів керування. Повідомлення 2 34
17. **Городній Ю. С., Бунь В. П.** Моделювання процесу вироблення біогазу шляхом анаеробного зброджування 36
18. **Симоненко Д. А., Ситніков О. В.** Синтез системи регулювання температури газової суміші хлорбензолу 38
19. **Кравченко О. С., Філіппова М. В.** Аналіз використання ресурсів виробництва 40
20. **Сідєльніков Є. О., Бунь В. П.** Контури регулювання температури 41
21. **Гавриш К. В., Юденко В. В., Гульчук А. А., Складанний Д. М.** Можливості системи диспетчеризації *myScada* у розробленні мнемонічних схем об'єктів керування. Повідомлення 3 43
22. **Ситніков О. В., Фтемов А. О.** Аналіз параметрів налаштування ПІ-регулятора для регулювання температури суміші непрореагованого етилену з рідиною 45
23. **Осінов С. Н., Єрьоменко І. В.** Оцінка точності моделювання процесу електричної провідності біологічних тканин 47

24. **Процевська М. Г., Коротинський А. П.** Синтез автоматичної системи керування стрічковим конвеєром 49
25. **Даниленко А. С., Ладієва Л. Р.** Оптимальне керування абсорбером у процесі добування кокосового газу 51
26. **Абрамова А. О., Бондаренко С. Г., Касьян О. А.** Моделювання процесу отримання азотної кислоти в ASPEN HYSYS 53
27. **Поліщук О. І., Ярощук Л. Д.** Моделювання абсорбції у виробництві формальдегіду 55
28. **Біганський Б. М., В. В. Миленький.** Математичне моделювання трубчастої печі в процесі лужного очищення дизпалива 57
29. **Абрамова А. О., Бондаренко С. Г., Колбасенко М. Г.** Моделювання процесу каталітичного окиснення метанолу у програмі CHEMCAD 59
30. **Борин В. С., Фешанич Л. І., Мельничук В. В.** Математична модель процесу гідратації етилену з урахуванням його нестаціонарності 61
31. **Поліщук В. Д., Квітка О. О.** Комп'ютерне моделювання процесу виробництва пропан-1,2-діолу 63
32. **Абрамова А. О., Бондаренко С. Г., Мельник А.В.** Моделювання процесу конверсії окисиду вуглецю з використанням моделюючої програми CHEMCAD 65
33. **Крамаренко Д. П., Бугаєва Л. М.** Аналіз процесу отримання біодизельного палива 67
34. **Грищенко В. О.** Математична модель газових контактних водонагрівачів як об'єкта керування 69
35. **Огір О. О.** Дослідження ефективності різних алгоритмів та конфігурацій нейромереж у вирішенні задачі підвищення якості діагностичних зображень 71
36. **Поліщук В. Д., Квітка О. О., Шахновський А. М.** Налаштування регулятора у підсистемі розділення суміші процесу виробництва пропан-1,2-діолу 73
37. **Малішевський В. С., Ковалюк Д. О.** Застосування компютерного зору для виявлення дефектів виробів за допомогою аналізу текстури 75
38. **Матошин О. В., Вислоух С. П.** Моделювання шорсткості поверхонь, отриманих свердлінням композиційних матеріалів 77
39. **Гуцало А. С., Бунь В. П.** Аналіз методів та засобів захисту кінцевих точок на прикладі Syxsense Endpoint Security 79
40. **Vychuzhanin A.V.** Program evaluation and prediction of the risk of failure of the components of a complex technical system 81
41. **Владимирський О. А., Владимирський І. А., Криворучко І. П., Анфімова Г. В.** Адаптація приладів пошуку витоків до роботи на підземних трубопроводах з високим загальним зносом 83
42. **Чечельницький М. Б., Квітка О. О.** Моделювання та автоматизація процесу отримання метанолу 85
43. **Сташкевич П. М., Лукінюк М. В., Лук'янов Д. О.** Пневмо-оптичний генератор електричної енергії 88
44. **Хазанович Ю. Ю., Черепанська І. Ю.** Визначення просторового положення кінцівок крокуючого мобільного робота 90
45. **Юхименко Ю. А., Стельмах Н. В.** Керування потоком повітря в апаратах штучної вентиляції легень 92
46. **Сущенко Д. О., Бунь В. П.** Оптимізація холодопостачання бізнес-центру з використанням методу адаптації та інтеграції системи рекуперації тепла 94
47. **Новіков П. В., Бунке О. С., Федчук В. О.** Застосування ігрових механізмів для розробки цифрових двійників 96
48. **Владимирський О. А., Криворучко І. П.** Спосіб формування сигналів управління крокового двигуна 98

49. **Дяченко С. М., Красовський Т. А.** Моделювання ультразвукових сонотродів для поверхневого пластичного деформування металів 100
50. **Клименко П. О., Загнойко В. С., Ковалюк Д. О.** Переваги використання мікроконтролера *Arduino* в системах автоматизації 102
51. **Захарченко А. С., Степанець О. В.** Реалізація комп'ютерної моделі теплообмінника як компонента цифрового двійника 104
52. **Іваненко Р. О., Волошко О. В., Покрова Д. М.** Система реєстрації торкання датчиком деталі для точного налагодження верстатів з ЧПК 106
53. **Владимирський О. А., Артемчук В. О., Дюков В. А.** До проблеми вибору структури перспективної системи вимірювання геометрії вигородки реакторів ВВЕР-1000 107
54. **Некрашевич О. В., Волощук В. А.** Застосування ексергетичного аналізу для предиктивного обслуговування обладнання 109
55. **Філіппова М. В., Демченко М. О.** Автоматизація моніторингу напружено-деформованого стану металевих конструкцій 111
56. **Гурський О. О.** Система управління, що забезпечує підвищену ефективність функціонування турбокомпресора 113
57. **Ковалюк О. О., Ковалюк Д. О.** Автоматизація бізнес-процесів з використанням чат-ботів 115
58. **Радченко Ю. Д., Вислоух С. П.** Підвищення ефективності логістичних процесів засобами *WMS*-систем 117
59. **Kuchkin O. M., Sazonov A. Y., Zghurskyi D. O.** RANSAC with sequential probability ratio test as a basis for the unmanned aerial vehicle autonomous navigation 119
60. **Пашков. С. О., Мазур О. В.** Імітаційна модель термоелектричного плівкового випарника як об'єкта керування 121

Наукове видання

АВТОМАТИЗАЦІЯ
ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ – 2023

IX МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
МОЛОДИХ УЧЕНИХ, АСПІРАНТІВ І СТУДЕНТІВ

АКІТ – 2023

Київ, 19 квітня 2023 року

Матеріали конференції

Відповідальний за випуск
А. І. Жученко, д-р техн. наук, проф.,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Укладання та комп'ютерне верстання *М. В. Лукінюка*

Матеріали подаються в авторській редакції

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Свідоцтво про державну реєстрацію: серія ДК № 5354 від 25.05.2017 р.
просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056

Підп. до друку 00.04.2023. Формат 60×84 1/16. Папір офс. Гарнітура Times.
Спосіб друку – електрографічний. Ум. друк. арк. 0,0. Обл.-вид. арк. 0,0.
Наклад 60 пр. Зам. № 23-00.

Видавництво «Політехніка» КПІ ім. Ігоря Сікорського
вул. Політехнічна, 14, корп. 15
03056, м. Київ
тел. (044) 204-81-78

КПІ ім. Ігоря Сікорського
Видавництво «Політехніка»